

UNIVERSIDADE DE LISBOA
FACULDADE DE CIÊNCIAS
DEGGE



ESTUDO DE TÉCNICAS
FOTOGRAMÉTRICAS PARA
CARACTERIZAÇÃO GEOMÉTRICA DE
ARRIBAS

Tiago André Balata Gonçalves

Trabalho de Projeto

MESTRADO EM ENGENHARIA GEOGRÁFICA

2013

**UNIVERSIDADE DE LISBOA
FACULDADE DE CIÊNCIAS
DEGGE**



**ESTUDO DE TÉCNICAS
FOTOGRAMÉTRICAS PARA
CARACTERIZAÇÃO GEOMÉTRICA DE
ARRIBAS**

Tiago André Balata Gonçalves

Trabalho de Projeto

MESTRADO EM ENGENHARIA GEOGRÁFICA

Projeto orientado pela Prof. Doutora Paula Redweik

2013

*“Em momentos de crise, só a imaginação
é mais importante que o conhecimento.”*

Albert Einstein

Resumo

A zona costeira portuguesa é geologicamente rica, pelo que os estudos geológicos são importantes. Estes estudos requerem no entanto um tratamento exaustivo dos dados de modo a que estes possam corretamente interpretados. É no âmbito da aquisição e tratamento de dados que a fotogrametria tem um papel importante, pois através das suas técnicas esse estudo torna-se eficaz.

Os estudos geológicos realizados na zona costeira pretendem averiguar, entre outros itens, se esta zona tem sofrido ou não alterações assinaláveis no último século. Este estudo requer a utilização de informação obtida em diferentes épocas. Esta informação pode encontrar-se na forma de fotografias aéreas, sendo que as mais antigas estão geralmente em formato analógico e as mais recentes já em formato digital. No presente trabalho, relativamente à época mais antiga da qual existe informação da zona estudada, o arco Cova do Vapor-Espichel, esta refere-se a fotografias obtidas por um voo realizado em 1980. As fotografias mais recentes da mesma zona que foram usadas datam de 2010.

Como tal pretende-se em primeiro lugar traçar a linha referente à crista da arriba costeira em cada época, tornando possível a posterior comparação entre as diferentes épocas. Este é considerado um estudo de evolução a longo prazo.

No âmbito deste projeto foi dada também oportunidade de participar de um estudo da variação do litoral de arriba a curto prazo. Pretende-se aqui verificar diferenças em áreas escolhidas da zona costeira portuguesa, em curtos intervalos de tempo (meses). Neste caso são utilizadas fotografias terrestres da face da arriba, obtidas nas praias. Este estudo requer grande precisão no tratamento dos dados de modo a que seja possível encontrar variações de época para época. Em paralelo com o estudo referido, é testada a utilidade de um novo software, o VisualSFM. Este tem como finalidade a reconstituição 3D de um objeto fotografado. Neste caso o objeto será a arriba da praia em estudo.

Abstract

The Portuguese coastline is geologically quite rich, so the geological studies are very important. These studies however require an exhaustive treatment of the data so that it can be correctly interpreted. It is in the context of data acquisition that photogrammetry has a very important role, because through its techniques this study is quite effective.

The geological study aims to ascertain if the Portuguese coastal zone have undergone remarkable changes or not in the last century. This study requires the use of information obtained at different times. This information is in the form of aerial photographs, from which the oldest are in analog format and the latest now in digital format. With regard to the earlier time, this refers to photographs obtained 1980 by a flight performed at that time. The more recent photos are from 2010.

As such it is intended in the first place to draw the line referring to the crest of the cliff coast each season, making it possible to later compare the different periods, one can consider that this is a study of long-term evolution.

If in the former case it was a long-term study, the next to be referred can be considered a short term study. The objective now is to find differences in the Portuguese coastal zone, at short intervals of time (months) using, in this case, terrestrial photographs of the cliffs, obtained on the beaches. This study requires great precision in the treatment of the data so that it is possible to find variations from season to season. In parallel with the above study, it is tested the usefulness of a new software, VisualSFM, that aims the 3D reconstruction of an object photographed. In this case the object is the cliff on the beach under study.

Índice

Resumo.....	i
Abstract.....	iii
Índice.....	v
Lista de figuras	viii
Lista de tabelas	xi
Abreviaturas	xii
Agradecimentos	xiv
Capítulo I - Introdução.....	16
1.1. Enquadramento do trabalho	16
1.2. Plano de trabalho	17
1.3. Organização do trabalho	17
Capítulo II - Fundamentação teórica	18
2.1. Fotogrametria aérea	18
2.1.1. Aerotriangulação	18
2.1.2. Georreferenciação direta	19
2.1.3. Restituição fotogramétrica	20
2.2. Fotogrametria terrestre	22
2.2.1 Restituição fotogramétrica	22
2.3. Algoritmos SFM.....	23
2.3.1. SIFT	23
2.3.2. PBA.....	27
2.3.3. CMVS	28
Capítulo III - Metodologia	29
3.1. Georreferenciação e estereorrestituição de coberturas aéreas de várias datas	29
3.1.1. Cobertura aérea de 2010	30
3.1.2. Cobertura aérea de 1980	36
3.2. Campanhas de campo	45
3.2.1. Cobertura fotográfica e apoio topográfico	45

3.3. Nuvem de pontos 3D	50
3.3.1. Photo Modeler Scanner	50
3.3.2. Visual SFM.....	54
Capítulo IV - Resultados	58
4.1. Coberturas aéreas	58
4.2. Nuvens de pontos	64
4.2.1. Photo Modeler Scanner	64
4.2.2. Visual SFM.....	65
4.2.3. Comparação	67
Capítulo V - Conclusões	70
Referências.....	72
Anexos	73
Certificados de calibração	73
Certificado do voo de 2010	73
Certificado do voo de 1980	75
Tutorial de utilização do Visual SFM	77
Parâmetros de Orientação Externa cobertura de 2010.....	87
Resultados da Aerotriangulação de 1980	89
Parâmetros de Orientação Externa cobertura de 1980.....	89
Resíduos dos PF's.....	90
Estimativas da precisão dos ajustamentos	90

Lista de figuras

Figura II.1- À esquerda está a pirâmide gaussiana, à direita a pirâmide de diferenças gaussianas.	24
Figura II.2 - Definição de um extremo	25
Figura II.3 - Esquerda: O ponto vermelho é o keypoint candidato. Direita: histograma.	26
Figura II.4 - Imagens de teste com vetores.	27
Figura II.5 - Reconstrução CMVS	28
Figura III.1 – Zona de estudo.....	29
Figura III.2 - Enquadramento fotográfico de 2010	30
Figura III.3 - Divisão das fotografias em dois projetos	32
Figura III.4 - Definição da câmara	33
Figura III.5 - Definição dos parâmetros de OI de cada fotografia	33
Figura III.6 - Modelo estereoscópico	34
Figura III.7 - Layers utilizados na restituição	34
Figura III.8 – Resultado da restituição	35
Figura III.9 - Enquadramento fotográfico do voo de 1980.....	36
Figura III.10 - Projetos relativos ao voo de 1980.....	37
Figura III.11 - Definição da câmara do voo de 1980	38
Figura III.12 - Definição da OI	39
Figura III.13 – Interface da base de dados.....	40
Figura III.14 - Exemplo de uma ficha de PF	41
Figura III.15 - GCP list.....	42
Figura III.16 - Resultado do ajustamento	43
Figura III.17 - Resultado da restituição de 1980.....	44
Figura III.18 - Praia da Adraga	45

Figura III.19 - Localização dos pontos (Praia da Adraga)	47
Figura III.20 - Praia de São Bernardino	48
Figura III.21 - Localização dos pontos (Praia de São Bernardino)	49
Figura III.22 - Importação de imagens	50
Figura III.23 - Nuvem arbitrária resultante do SmartMatching. Assinalados por cruzes brancas estão os PFs.....	51
Figura III.24- Criação de um sistema de coordenadas	51
Figura III.25 - Marcação de um PF	52
Figura III.26 - Exemplo de criação de uma nuvem densa	52
III.27 - Nuvem de pontos parcial	53
Figura III.28 - Importação de imagens	54
Figura III.29 - Nuvem esparça que resulta do algoritmo PBA	55
Figura III.30 - Modelo Final	55
Figura III.31 - Marcação de um PF	56
Figura III.32 - Localização dos PFs (a vermelho) na nuvem total.	56
Figura III.33 - Nuvem relativa à nova época de observação	57
Figura IV.1 - Exemplo de uma zona que não é necessário restituir.	59
Figura IV.2 – Fotografias de 1980 georreferenciadas	60
Figura IV.3 - Fotografias de 2010 georreferenciadas.....	61
Figura IV.4 - Exemplo de restituição no projeto de 2010, linha de crista de arriba	62
Figura IV.5 – Exemplo de restituição no projeto de 2010, linha de crista e base de arriba	62
Figura IV.6 - Exemplo de restituição no projeto de 1980, linha de crista de arriba	63
Figura IV.7 - Nuvem de pontos gerada no PhotoModeler	65
Figura IV.8 - Nuvem de pontos gerada com Visual SFM	66
Figura IV.9 - Diferenças entre as duas épocas.....	68
Figura IV.10 – Segunda época.....	69
Figura V.1 - Comparações 1980 (azul) e 2010 (vermelho)	70

Lista de tabelas

Tabela III.1 - Dados do voo de 2010.....	31
Tabela III.2 - Coordenadas dos PFs	46
Tabela III.3 - Coordenadas dos Pontos estação e referência	47
Tabela III.4- Coordenadas dos Pontos estação e referência	49
Tabela V.1 - Comparação entre Visual SFM e Photo Modeler	71

Abreviaturas

Lista de abreviaturas

DEGGE	Departamento de Engenharia Geográfica, Geofísica e Energia
FCUL	Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa
SFM	<i>Structure From Motion</i>
PFs	Pontos Fotogramétricos
GPS	Global Positioning System
IMU	Inertial Measuring System
3D	Tridimensional
OI	Orientação Interna
OE	Orientação Externa
OR	Orientação Relativa
OA	Orientação Absoluta
GCPList	<i>Ground Control Points list</i>
SIFT	<i>Scale Invariant Feature Transform</i>
PBA	<i>Parallel Bundle Adjustment</i>
CMVS	<i>Clustering for Multi-View Stereo</i>
PMVS	<i>Patch Multi-View Stereo</i>
GSD	<i>Ground Sample Distance</i>
MDE	Modelo Digital de Elevação

Agradecimentos

Realizar um projeto desta dimensão é algo que requer muita ajuda, por parte de quem tem experiência e de quem tem boa vontade. Como tal, devo agradecer:

À Sr.^a Professora Doutora Paula Redweik pela ajuda prestada em todas as fases deste trabalho, pela excelente orientação prestada e por disponibilizar o seu próprio gabinete e computador para que fosse possível realizar algumas etapas bastante importantes deste projeto;

À Doutoranda Rita Matildes por estar sempre disponível para ajudar em todos os momentos, apesar de estar a realizar o seu próprio projeto de final de Doutoramento;

Aos colegas Margarida Rosa e Vitor pela troca de ideias, opiniões e metodologias de trabalho que facilitaram bastante o trabalho realizado;

A todos os professores que me transmitiram conhecimentos durante estes 5 anos, agradeço-vos a todos pois também contribuíram para a realização deste projeto;

Aos meus familiares pelo apoio constante, pelo incentivo prestado que me motivou muito a ultrapassar com sucesso estes últimos anos da minha vida;

Aos meus amigos pela preocupação, força, apoio, pelos momentos de descontração muito importantes para mim;

Aos colegas que passaram comigo os últimos 5 anos da minha vida, que ultrapassaram comigo todos os obstáculos que surgiram durante a Licenciatura e Mestrado, que me fizeram dar bastante importância ao trabalho de equipa, à entreatajuda, à amizade, ao esforço, por isso a eles também dedico este trabalho;

Estou muito agradecido a todos, pois permitiram que estes 5 anos, que agora terminam neste projeto, tenham bastante significado para mim e me tenham feito crescer enquanto indivíduo. Obrigado.

Capítulo I - Introdução

1.1. Enquadramento do trabalho

Com este trabalho pretende-se, através da utilização de técnicas de fotogrametria aérea e terrestre interativas e automáticas, caracterizar a geometria de objetos irregulares, neste caso arribas costeiras. No caso da fotogrametria aérea, a caracterização é feita em relação a duas coberturas fotográficas de 1980 e 2010. Através da caracterização das arribas, é possível verificar qual a evolução destas estruturas geológicas, durante este período. Relativamente à fotogrametria terrestre, são utilizadas fotografias terrestres novamente com o objetivo de caracterizar as arribas sendo, desta vez, os períodos entre cada cobertura muito menores (meses). Novamente o que se pretende é verificar a evolução das arribas costeiras entre estações do ano e ao longo dos anos. Para além destas técnicas já aplicadas habitualmente neste domínio, pretende-se ainda avaliar a adequabilidade das técnicas automáticas baseadas em algoritmos SFM para estudos de evolução de arribas a nível local, ou seja, com a utilização de coberturas terrestres.

Com o presente estudo pretendeu-se adquirir competências em campo e gabinete, na área da monitorização costeira em litoral de arriba, bem como avaliar se os algoritmos SFM de reconstrução automática serão uma mais-valia na aquisição de dados e na restituição do *status quo* nas épocas de observação das arribas.

1.2. Plano de trabalho

No que diz respeito ao plano de trabalho, inicialmente é realizado o estudo utilizando técnicas de fotogrametria aérea, com o objetivo de georreferenciar e estereorrestituir as coberturas aéreas de 1980 e 2010.

Relativamente às técnicas de fotogrametria terrestre, o leque de atividades é muito mais alargado. São feitas campanhas de campo para obtenção de cobertura fotográfica terrestre e determinação do apoio topográfico. Após a fase das campanhas de campo, inicia-se a fase de georreferenciação e geração de uma nuvem de pontos 3D fotogrametricamente, seguida da aplicação de algoritmos SFM.

Por fim são realizadas todas as comparações e análises de resultados consideradas adequadas, relativamente aos processos efetuados.

1.3. Organização do trabalho

O presente documento pretende descrever da melhor forma todos os processos realizados. O fato de se tratar de um projeto, associa uma enorme importância aos procedimentos realizados, aos seus resultados e finalmente às conclusões a retirar destes. Ainda assim, é fundamental inicialmente abordar as questões teóricas, pois partindo destas torna-se possível formular melhores conclusões.

Como tal e após o capítulo da introdução, o capítulo II aborda a fundamentação teórica associada a este trabalho. Esta fundamentação é importante, pois facilita a compreensão dos processos realizados.

Relativamente ao terceiro capítulo, é abordada a metodologia de trabalho que foi desenvolvida, sendo esta sempre devidamente justificada ao longo do capítulo.

No quarto capítulo são abordados os resultados obtidos em cada processo realizado, bem como a sua avaliação relativamente ao que era esperado previamente.

No quinto e último capítulo, encontram-se as conclusões a retirar, em especial sobre a comparação no caso das coberturas aéreas da evolução das arribas, e no caso das coberturas terrestres sobre as nuvens 3D obtidas por dois métodos distintos.

Capítulo II - Fundamentação teórica

2.1. Fotogrametria aérea

No que diz respeito à fotogrametria aérea, o objetivo principal é a obtenção de informação geográfica constituindo essa informação, no caso deste trabalho, a linha de crista da arriba costeira das épocas em estudo. Mas para se obter a informação referida é necessário realizar um conjunto de operações preliminares, a definição do projeto a realizar, o voo fotográfico, a georreferenciação e por fim a restituição. No projeto em causa apenas as operações de georreferenciação e restituição foram abordadas, pelo que neste capítulo apenas os aspetos teóricos relacionados com estas operações serão referidos.

Antes de iniciar a fundamentação teórica propriamente dita, é importante falar sobre o significado da palavra “Orientação” no âmbito deste trabalho. Este termo é referido várias vezes significando a recuperação das condições existentes no momento de obtenção de uma fotografia. Existem 4 diferentes tipos de orientações, OI, OR, OE, e OA. A OI é relativa à câmara que obteve as imagens e é associada a cada imagem. A OR relaciona pares de fotografias entre si ou pode também ser relativa a um modelo. A OE relaciona a imagem com o terreno, no momento em que esta foi obtida e é também associada a cada foto. Por fim a OA relaciona um modelo com o terreno, como tal está associada ao modelo. Todas as orientações enunciadas são definidas geometricamente por parâmetros. São estes que permitem que elas sejam recuperadas.

2.1.1. Aerotriangulação

A aerotriangulação é um processo no qual são realizadas operações matemáticas e estatísticas, com o objetivo de determinar a orientação espacial de uma cobertura fotográfica, usando para isso apoio geodésico na forma de PFs. Isto significa que, através de coordenadas terreno de alguns pontos que surgem na cobertura e tendo em conta a geometria de cada fotografia, de cada modelo estereoscópico e da cobertura, é possível determinar os parâmetros que relacionam analiticamente as imagens com o objeto. Estes parâmetros dividem-se em orientações externas de cada fotografia e

orientações absolutas de cada modelo estereoscópico. O processo de aerotriangulação pode ser feito em faixa ou em bloco.

Neste projeto a aerotriangulação é realizada em bloco por feixes perspetivos, isto é, são considerados todos os raios perspetivos com origem num determinado ponto objeto, que passam por todos os centros de projeção e interseccionam os planos imagem nos pontos imagem respetivos em cada uma das fotos onde o ponto aparece. Para este tipo de aerotriangulação são necessárias as coordenadas foto de pontos de apoio e PFs, coordenadas terreno dos PFs e parâmetros de orientação interna da câmara. O modelo matemático utilizado é a projeção central, que se traduz nas equações de colinearidade entre pontos imagem, centro de projeção e ponto objeto.

Após este processo surgem, seis parâmetros de orientação externa para cada foto, três coordenadas objeto para cada ponto medido e também parâmetros de calibração, chamados de parâmetros adicionais. Os valores referidos acima são determinados iterativamente pelo método dos mínimos quadrados.

2.1.2. Georreferenciação direta

A georreferenciação direta é o processo que permite determinar a orientação externa das fotografias, usando para isso dados GPS/IMU, ao invés de realizar um processo de aerotriangulação.

O GPS/IMU é um sistema que une técnicas de posicionamento inercial e de posicionamento por GPS, funcionando estas em paralelo com o objetivo de completarem as limitações inerentes a cada uma.

Relativamente ao dispositivo IMU, o seu sistema é baseado nas leis de movimento de Newton e também na lei de conservação do momento angular. O IMU tem como objetivo detetar acelerações lineares e angulares, usando para isso acelerómetros e giroscópios. Aquando da cobertura aérea, este sistema deve estar solidário com a câmara, de modo a fornecer a cada momento as acelerações (lineares e angulares) sofridas partindo da posição inicial. Através das acelerações referidas obtêm-se valores de posições (X, Y, Z) e de atitude do avião (ω, φ, k) sendo, para tal necessário calcular duas vezes o integral dessas acelerações em relação ao tempo. No âmbito das limitações, este sistema é muito preciso momentaneamente, mas tende a perder bastante precisão com o passar do tempo. Isto é, o fato de ser um sistema autónomo, quando este

se inicializa as coordenadas iniciais são precisas, mas as seguintes são obtidas com base nas anteriores, o que com o passar do tempo retira precisão aos dados.

Em relação ao GPS, este é um sistema de posicionamento baseado na navegação por satélite, fornece localização e informações temporais quaisquer que sejam as condições climáticas, desde que no local em causa estejam visíveis pelo menos quatro satélites. A grande limitação do GPS é a perda de sinal, isto acontece quando não é possível receber sinal de no mínimo quatro satélites simultaneamente. A perda de sinal provoca a interrupção de receção de dados, e enquanto este não for retomado não serão obtidos quaisquer dados.

Ao integrar os dois sistemas é possível que o IMU seja reinicializado constantemente, à taxa de receção do GPS e com os valores fornecidos por este, mantendo-se deste modo a precisão sempre alta. No caso em que o GPS perde sinal, o IMU continua a sua determinação de dados posicionais autonomamente, até que seja retomado o sinal. A integração dos dados destes sistemas é feita por filtros de Kalman.

Um voo fotográfico realizado com GPS/IMU não necessita de PFs, e dispensa também a fase de aerotriangulação, isto porque este sistema consegue fornecer dados para calcular os elementos de orientação externa da fotografia no momento em que esta é obtida. Os elementos referidos são as coordenadas do centro de projeção e ângulos de atitude da câmara. Utilizando estes elementos é possível determinar coordenadas terreno a partir de coordenadas foto de qualquer ponto através de interseção direta espacial. Há também a possibilidade de orientar cada foto no espaço objeto independentemente, podendo realizar-se assim a orto-retificação.

2.1.3. Restituição fotogramétrica

Depois do processo de Georreferenciação estar terminado, é possível passar à fase de restituição, que está dividida em duas fases essenciais. A primeira fase consiste na recuperação das orientações que existem entre a imagem e o objeto quando foi obtida a fotografia. A segunda e última fase tem como objetivo extrair informação relevante do objeto para a reconstituição 3D.

Existem diferentes métodos de restituição, sendo que cada um tem associados procedimentos distintos. Desses métodos fazem parte a restituição por retificação fotográfica, por estereorrestituição e restituição múltipla. Relativamente a este projeto e

em relação à fotogrametria aérea o método de restituição utilizado é a estereorrestituição.

Antes de abordar este tema, é necessário fazer uma breve introdução ao conceito de estereoscopia. A estereoscopia consiste na capacidade natural que os humanos e outros animais possuem de visualizar o mundo em 3D a partir das imagens que cada olho capta. A estereorrestituição é um método no qual as fotografias da cobertura fotográfica se processam aos pares com o efeito da estereoscopia associado. A realização deste tipo de restituição pode ser feita de duas formas sendo em ambos os casos necessário recuperar a OI de cada fotografia do par. No primeiro caso, após a OI é recuperada a OR do par, formando assim um modelo, sendo que este ainda não tem coordenadas terreno associadas. Para tal é necessário recuperar por fim a OA do modelo. Deste modo é possível avançar para a fase de restituição. No segundo caso, já com a OI é recuperada a OE de cada foto. Deste modo cada foto já tem coordenadas terreno associadas, pelo que por fim basta recuperar a OR, criando assim um modelo pronto para a visualização e medição em 3D. Em ambos os casos o resultado final permite a realização de estereorrestituição em coordenadas terreno.

Importa referir que para se realizar uma OR é necessário identificar pontos que sejam comuns entre as fotografias de cada par cuja localização é estratégica pelo que obedece a determinadas regras. Os pontos referidos chamam-se pontos de *Von Gruber*. A sua localização estratégica torna mais rápida a convergência do algoritmo de cálculo da OR. Por fim a restituição é realizada ao pormenor em 3D, utilizando para tal componentes da estação digital (programa de restituição) que permitam a estereoscopia bem como a marca flutuante. É possível restituir pontos e linhas que façam parte de elementos bem definidos no objeto e ainda linhas de igual cota que não estão materializadas por nenhum objeto no terreno.

2.2. Fotogrametria terrestre

Relativamente às técnicas terrestres, realizaram-se várias tarefas ao longo deste projeto, tais como campanhas de campo para coberturas fotográficas, determinação de apoio topográfico e levantamentos laser scanner. Através dos dados obtidos em campo, em trabalho de gabinete pretende-se obter informação geográfica. Neste caso essa informação é uma nuvem de pontos 3D relativa a uma arriba costeira. Esta nuvem é posteriormente georreferenciada. Após este processo serão averiguados os resultados obtidos com a mesma nuvem 3D georreferenciada obtida pela utilização de algoritmos SFM.

2.2.1 Restituição fotogramétrica

Relativamente a este projeto e em relação à fotogrametria terrestre o método de restituição utilizado foi a estereorrestituição (múltipla) automática.

Neste método todas as fotografias da cobertura são processadas em conjunto, desde que relevantes. As recuperações das OI, OR e OE de cada fotografia e do conjunto são cruciais. O processo de recuperação das orientações é feito analiticamente por triangulação fotogramétrica, sendo que não é visualizado nenhum modelo estereoscópico como no método anterior. Os pontos homólogos são medidos interativamente ou detetados automaticamente por operadores de correlação. No método aplicado as medições são monoscópicas, pelo que são menos exigentes para o operador em comparação com a estereorrestituição interativa.

Relativamente à restituição 3D são detetados automaticamente um conjunto muito denso de pontos homólogos em pelo menos três fotografias por processos de correlação de imagem. As suas coordenadas 3D são calculadas por inteseção direta e ajustadas no espaço 3D pelo método dos mínimos quadrados. O conjunto dos pontos 3D cria uma nuvem de pontos.

2.3. Algoritmos SFM

O VisualSFM é uma aplicação gráfica para a reconstrução 3D, que tem como base a recuperação da estrutura a partir do movimento (SFM). Em termos fotogramétricos poder-se-ia dizer que o método calcula as coordenadas 3D de pontos a partir da paralaxe desses pontos em várias fotos. O sistema de reconstrução integra vários dos projetos desenvolvidos por *ChangChang Wu: Sift, Multicore Bundle Adjustment e Towards Linear-time Incremental Structure from Motion*. Em particular, tanto o sistema SfM GUI como o SiftGPU começaram como projetos de curso, quando *ChangChang Wu* estudava na universidade. O VisualSFM é uma aplicação muito rápida, que explora a utilização de vários componentes do computador em simultâneo, o que oferece a referida rapidez à aplicação. Além disso, o VisualSFM fornece as interfaces para executar a ferramenta PMVS/CMVS desenvolvida por *Yasutaka Furukawa*.

Neste capítulo pretende-se fazer uma introdução teórica ao programa Visual SFM. Para tal são abordados os principais algoritmos utilizados no mesmo. Estes algoritmos são distintos dos utilizados no programa Photo Modeler Scanner, pelo que é importante a realização de um estudo de modo a compreender cada particularidade desses algoritmos.

Relativamente aos algoritmos SFM propriamente ditos, são abordados de seguida os três principais, Sift, PBA e CMVS. Todos estes são patenteados pelo que não existe uma vasta informação sobre cada. Ainda assim é possível compreender o funcionamento e objetivo de cada um.

No capítulo III, referente à metodologia seguida no projeto, são referidos os resultados práticos obtidos com a utilização dos algoritmos SFM.

2.3.1. SIFT

O algoritmo SIFT (*Scale Invariant Feature Transform*) transforma uma imagem num conjunto de vetores que a caracteriza [1]. Cada vetor é único e independente da escala, rotação ou translação da imagem. O algoritmo SIFT realiza um processo de filtragem que se divide em 4 fases: criação da pirâmide das diferenças Gaussianas (*DoG*), deteção, localização e atribuição de orientação aos pontos-chave. Estes pontos são utilizados para localizar com precisão objetos complexos em conjuntos de imagens e vídeos não ordenados.

Aplicado ao programa VisualSFM, este algoritmo tem como objetivo identificar pontos comuns entre fotografias (pontos-chave), permitindo assim que seja criado um modelo.

2.3.1.1. Diferenças gaussianas

Esta primeira etapa consiste em construir uma função Gaussiana da imagem inicial. Esta função é formada por convolução (filtragem) da imagem original com funções Gaussianas de diferentes dimensões [2]. A pirâmide das diferenças Gaussianas (DoG), $D(x, y, \text{escala})$, representa a diferença entre duas imagens filtradas, uma com escala k vezes maior que a outra. Depois de processar a pirâmide, a imagem Gaussiana é subdividida até se obter uma escala que seja o dobro do inicial, o que aumenta significativamente a eficiência do algoritmo em escalas menores. Este processo é ilustrado na Figura abaixo.

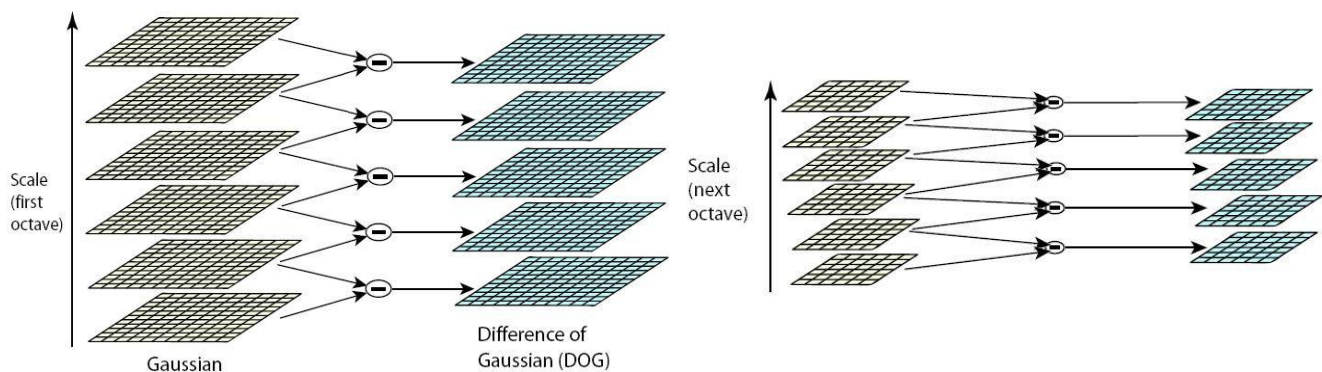


Figura II.1- À esquerda está a pirâmide gaussiana, à direita a pirâmide de diferenças gaussianas.

Na pirâmide gaussiana, as imagens vizinhas estão separadas por um fator de escala constante. Estas são subdivididas para criar a pirâmide de diferenças. A pirâmide gaussiana que contém uma escala com o dobro do original, é subdividida e usada para construir a pirâmide seguinte.

Cada vez que é feita uma nova pirâmide, a escala aumenta, o que torna a identificação de diferenças mais fiável.

2.3.1.2. Detecção dos extremos

Esta etapa consiste em encontrar os pontos extremos nas imagens das Diferenças Gaussianas [3]. Para detetar os máximos e mínimos locais de $D(x, y, \text{escala})$, cada ponto é comparado com os seus 26 vizinhos (Figura 2). Se esse ponto for o mínimo ou máximo é um extremo. Em seguida, para melhorar a precisão da localização do ponto, é utilizada uma série de Taylor de segunda ordem.

$$z = - \left(\frac{d^2 D}{dx^2} \right)^{-1} \frac{dD}{dx}$$

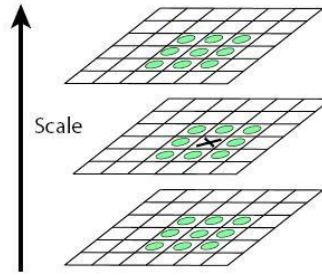


Figura II.2 - Definição de um extremo

2.3.1.3. Eliminação de pontos

Esta etapa pretende eliminar pontos a partir da lista de pontos chave, encontrando aqueles que têm baixo contraste ou estão mal localizados [3]. O valor de um ponto no extremo é dado por:

$$D(z) = D + \frac{1}{2} \frac{dD^{-1}}{dx} z$$

Se o valor da função de z é inferior a um valor de threshold, este ponto é excluído. Para eliminar um extremo mal localizado é considerado o fato de que, nestes casos, existe uma grande curvatura nos cantos mas uma pequena na direção perpendicular às diferenças da função gaussiana. H é calculado com a localização e escala do ponto chave. Com estas fórmulas, a relação de curvatura pode ser verificada de forma eficiente.

$$H = \begin{bmatrix} D_{xx} & D_{xy} \\ D_{xy} & D_{yy} \end{bmatrix}$$

$$\frac{Tr(H)^2}{Det(H)} < \frac{(r+1)^2}{r}$$

$$Tr(H) = D_{xx} + D_{yy}$$

$$Det(H) = D_{xx}D_{yy} - (D_{xy})^2$$

2.3.1.4. Atribuição de orientação

Esta etapa visa atribuir uma orientação consistente aos pontos-chave com base nas propriedades da imagem [4]. Um histograma de orientação é criado a partir do gradiente de orientação dos pontos da amostra, dentro de uma região em redor do ponto chave que é ilustrada na figura abaixo. Para a implementação é usado um quadrado 16x16. O histograma de orientação tem 36 barras que cobrem 360 graus. A magnitude, $M(x, y)$, e orientação, $\theta(x, y)$, do gradiente são pré-calculados usando diferenças de pixel. Os picos do histograma de orientação correspondem a locais de direções dominantes dos gradientes. Se junto a um pico estiverem outros com 80% da sua altura, estamos na presença de um ponto-chave, que no caso está orientado para o pico com 80% da altura do maior. A alguns pontos serão atribuídas várias orientações se existem vários picos de magnitude semelhante. A distribuição de Gauss é usada para determinar os três valores de histograma mais próximo de cada pico, assim é possível obter uma melhor precisão na sua localização.

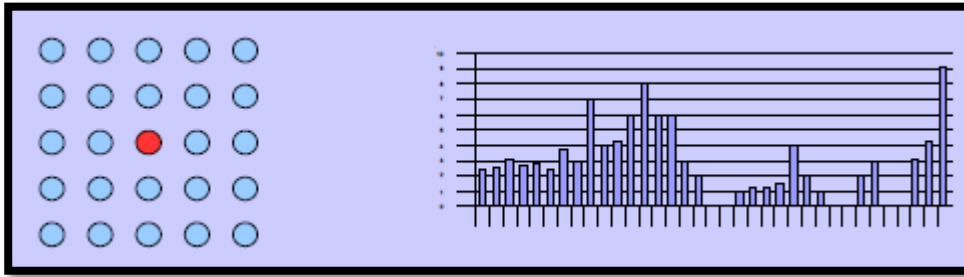


Figura II.3 - Esquerda: O ponto vermelho é o keypoint candidato. Direita: histograma.

$$m(x, y) = \sqrt{(L(x + 1, y) - L(x - 1, y))^2 + (L(x, y + 1) - L(x, y - 1))^2}$$

Na imagem da esquerda, onde se localiza o *keypoint* candidato, as orientações dos restantes pontos são pré calculadas usando diferenças entre pixeis. No histograma cada barra contém 10 grau, logo as 36 barras, representam os 360 graus. O valor de cada barra mantém as somas de todos os pontos dentro da orientação pré calculada.

$$\theta(x, y) = \arctan\left(\frac{(L(x, y + 1) - L(x, y - 1))}{(L(x + 1, y) - L(x - 1, y))}\right)$$

Nas imagens abaixo surgem os vetores. Os pontos de onde eles partem indicam os pontos-chave e as setas indicam a orientação (do gradiente) dos pontos chave.

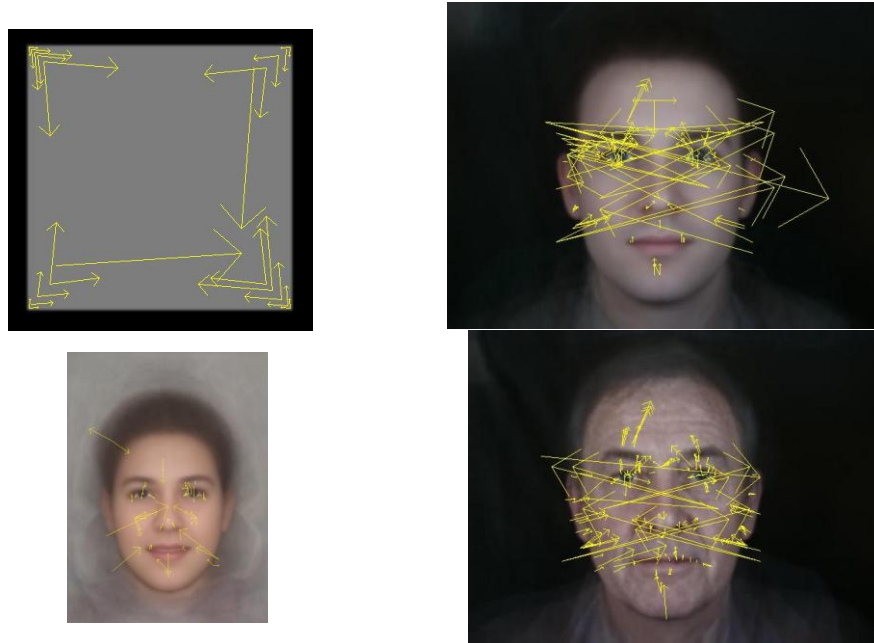


Figura II.4 - Imagens de teste com vetores.

Nas quatro imagens acima, os vetores indicam os pontos-chave do desenho. Podemos ver na imagem superior esquerda, que os pontos-chave têm forte resposta a cantos. As restantes imagens mostram que os pontos-chave estão orientados sobre o homem e os rostos.

2.3.2. PBA

O PBA ou Multicore Bundle Adjustment (ajustamento por feixes perspetivos com vários núcleos), é um acelerador que integra núcleos de CPU e GPU [5]. Reestruturando o problema de otimização não-linear, o cálculo geral torna-se dominado por uma série de operações matriz-vetor simples. As operações matriz-vetor são realizadas em paralelo com uma combinação de multi-threading (processos em paralelo) e SIMD (Single Instruction Multiple Data).

Este algoritmo aplicado no programa Visual SFM, tem a importante função de criar o modelo 3D provisório, isto é, definido por uma baixa densidade de pontos [6]. O modelo referido é criado a partir dos pontos chave (SIFT) permitindo estes pontos identificar objetos iguais em fotografias diferentes. Para a criação de um modelo

correto, os pontos referidos devem abranger toda a zona de estudo. Desta forma o modelo criado também irá abranger essa zona.

2.3.3. CMVS

Muitos algoritmos de visualização múltipla estereoscópica (MVS) não conseguem escalar corretamente um grande número de imagens. Isto deve-se à falta de recursos computacionais e de memória. O algoritmo CMVS, através do resultado das operações SFM, faz a decomposição das imagens em vários pequenos conjuntos, que permitem que as operações sejam executáveis. Um algoritmo MVS pode ser usado para processar cada um dos conjuntos referidos, independentemente e em paralelo. A união de todos os pequenos conjuntos não irá perder quaisquer detalhes que podem ser obtidos de outro modo a partir do conjunto total da imagem.

Este algoritmo foi desenvolvido por Yasutaka Furukawa, durante os seus estudos na Universidade de Washington, sob a supervisão do Professor Brian Curless e o Professor Steve Seitz na Universidade de Washington, e Richard Szeliski na Microsoft Research.

O algoritmo de visualização múltipla PMVS2, está incluído no pacote CMVS. Este foi desenvolvido quando Yasutaka Furukawa era um estudante na Universidade de Illinois em Urbana-Champaign, sob a supervisão do Prof Jean Ponce. Ao longo do tempo, foram efetuadas modificações e aperfeiçoamentos por Yasutaka Furukawa.

O algoritmo PMVS2 é usado para fins de produção reais pela Industrial Light & Magic, Weta Digital, e Google Inc.

Aplicado ao VisualSFM, este algoritmo utiliza a nuvem de pontos 3D esparsa criada pelo algoritmo PBA, e associa-lhe uma maior densidade de pontos. O resultado é uma nuvem densa de pontos, surgindo assim a reconstrução final do objeto de estudo.

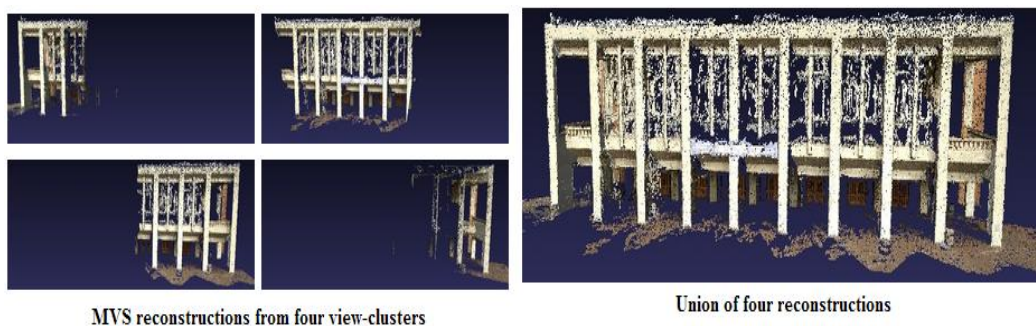


Figura II.5 - Reconstrução CMVS

Capítulo III - Metodologia

3.1. Georreferenciação e estereorrestituição de coberturas aéreas de várias datas

As datas das coberturas aéreas referidas anteriormente são as de 1980 e 2010. As fotografias de 2010 são digitais e encontram-se previamente georreferenciadas. Em contrapartida as de 1980 são analógicas, mas para este trabalho foram digitalizadas. A zona alvo de estudo encontra-se entre a Cova do Vapor e o Cabo Espichel.

De seguida serão abordadas as metodologias utilizadas neste processo.



Figura III.1 – Zona de estudo

3.1.1. Cobertura aérea de 2010

De todas as fotografias obtidas com o voo referido, cinquenta são utilizadas no processo de restituição, estando divididas por seis fiadas diferentes.

Por forma a tornar a consulta das fotografias e a informação associada a estas mais eficiente, foi criado um ficheiro em ArcGIS, que contém o enquadramento destas fotografias e a informação associada a cada uma.

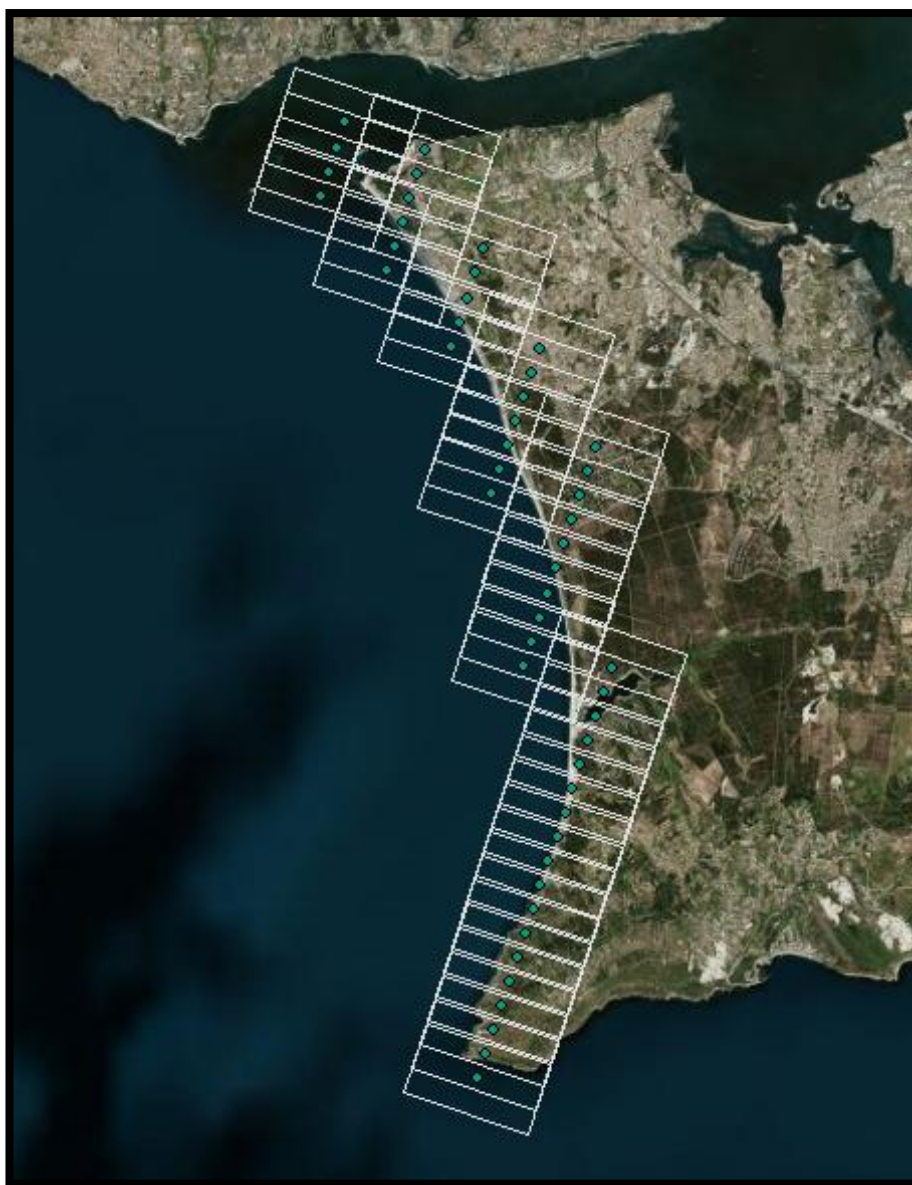


Figura III.2 - Enquadramento fotográfico de 2010

Tabela III.1 - Dados do voo de 2010

Câmara	DMC01-0129
Altura de voo (m)	3 000
Tamanho do pixel métrico (m)	0.000012
GSD (m)	0.3
Escala da fotografia	25 000
Constante da câmara (m)	0.12
s1 (pixel)	7 680
s2 (pixel)	13 824
S1 (m)	2 304
S2 (m)	4 147.2
Distância entre os centros de fotos sucessivas (m)	807.17
Sobreposição longitudinal	65 %
Área coberta por uma foto (m ²)	9555 149
Área estereoscópica coberta por um modelo (m ²)	6207 649
Área de sobreposição entre modelos consecutivos (m ²)	2860 150

Após a obtenção do enquadramento fotográfico, e dos dados associados ao voo fotográfico inicia-se o processo de georreferenciação no programa PHOTOMOD 5 Lite. Dado o número de fotografias (50), divididas em seis fiadas, decidiu-se criar dois projetos diferentes. Esta decisão pretende facilitar as operações de georreferenciação e restituição seguintes.



Para a criação de um projeto, é necessário associar a este um sistema de coordenadas (ETRS89 PT-TM06) e a geometria, neste caso a projeção central. Em seguida é definida a câmara utilizada, para o que são introduzidos os parâmetros de OI que se encontram no certificado de calibração (em anexo) e finalmente são importadas as fotografias.

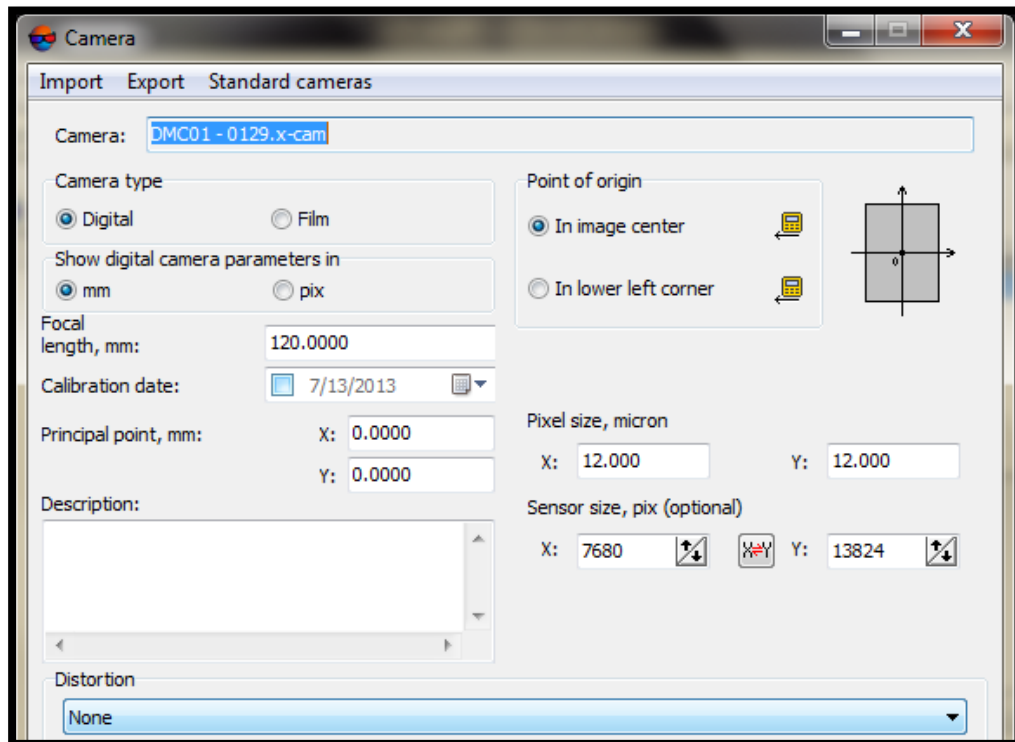


Figura III.4 - Definição da câmara

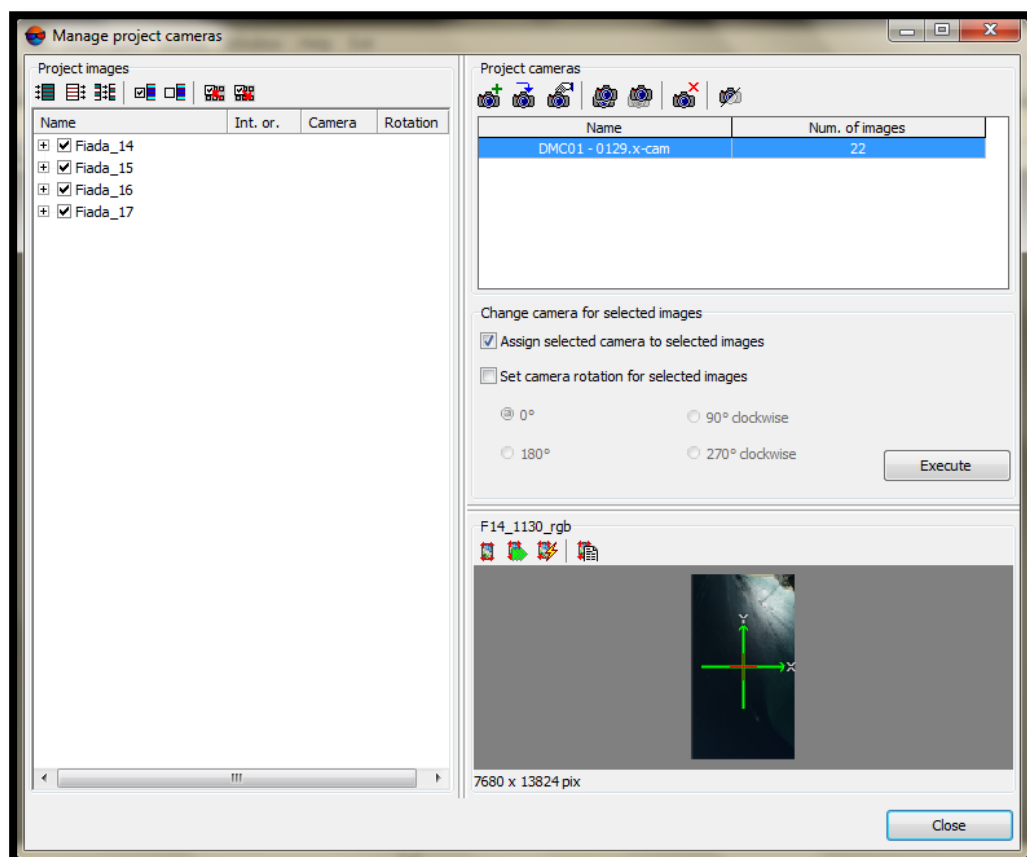


Figura III.5 - Definição dos parâmetros de OI de cada fotografia

Após este processo são importados os parâmetros de OE referentes a cada fotografia (dados GPS/IMU que se encontram em anexo) e feita a georreferenciação direta, o que permite iniciar a fase de restituição. Para realizar a restituição, é necessário utilizar um modelo estereoscópico como o representado abaixo, onde todas as zonas que se encontrem em ambas as fotografias e que sejam de interesse são restituídas.

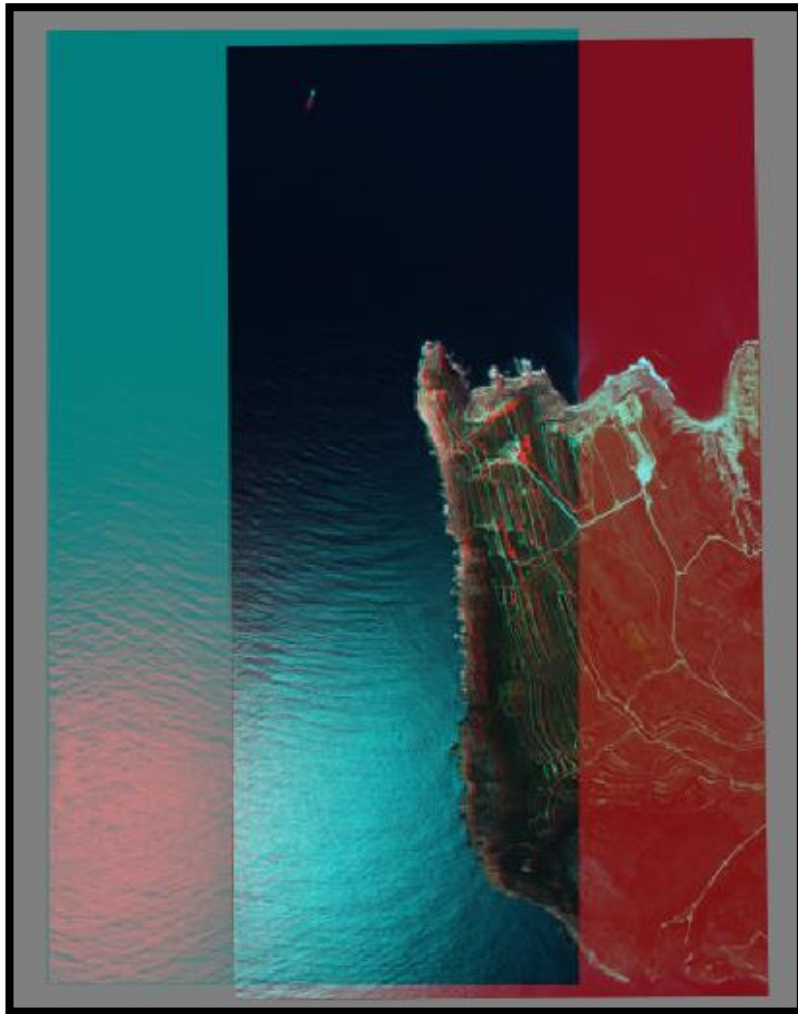


Figura III.6 - Modelo estereoscópico

Relativamente à restituição, é necessário criar um conjunto de layers, que tem como objetivo dividir o que é restituído por categorias. No caso, o layer da crista de arriba e da base de arriba.

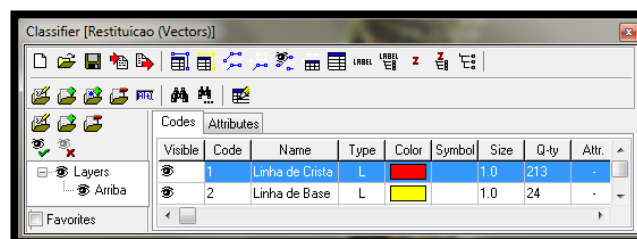


Figura III.7 - Layers utilizados na restituição

Após o fim da restituição, a informação obtida é exportada para um ficheiro em formato ShapeFile, de modo a que possa ser utilizada em ambiente ArcGIS.

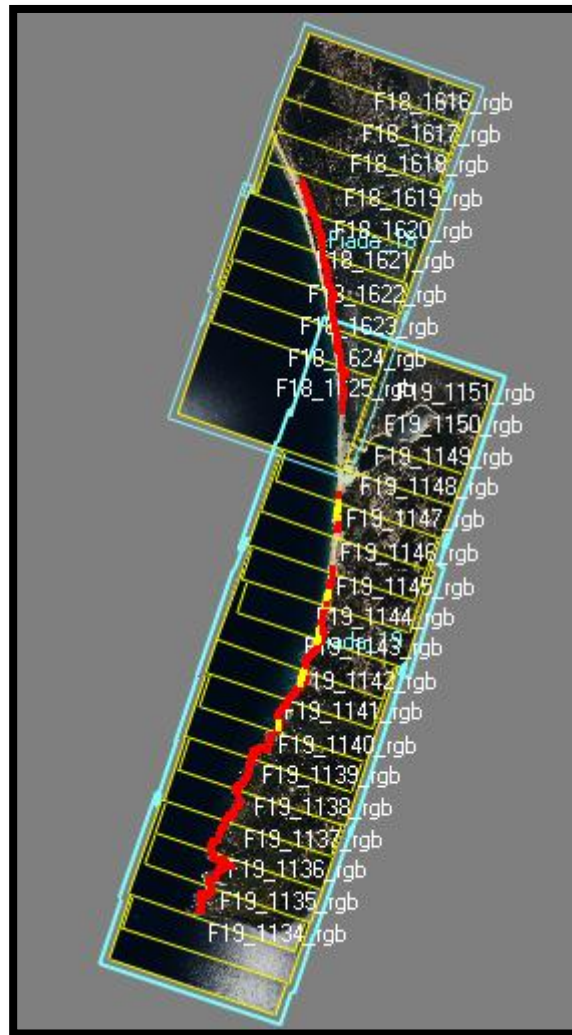


Figura III.8 – Resultado da restituição

Deste modo, a fase de restituição da linha de crista e base de arriba a partir do voo de 2010 está concluída. Como referido anteriormente apenas foi realizada a restituição do projeto que surge na figura acima desenvolvendo-se desde a Lagoa de Albufeira até ao Cabo Espichel.

3.1.2. Cobertura aérea de 1980

As fotografias relativas ao voo de 1980 não se encontram georreferenciadas, o que torna o processo de restituição mais complexo. Fazem parte desta cobertura vinte e oito fotografias, divididas em duas fiadas.

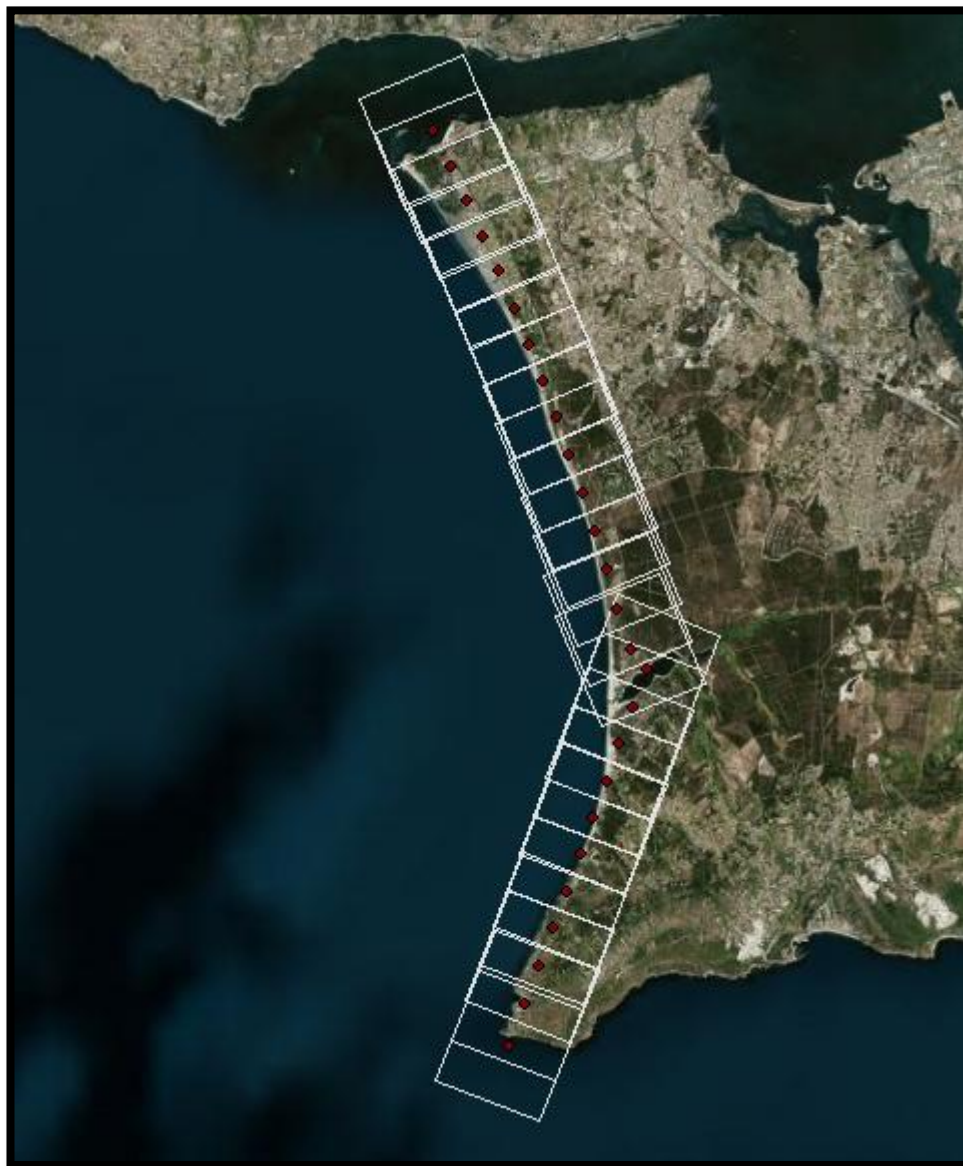


Figura III.9 - Enquadramento fotográfico do voo de 1980

Tal como no caso do voo de 2010, houve a necessidade de dividir as duas fiadas e colocar cada uma num projeto diferente. A existência de duas fiadas, que neste caso retratam independentemente zonas alvo de restituição (esquerda), e uma outra zona que não necessita do mesmo estudo, tornam logica a decisão de dividir o voo em dois projetos.

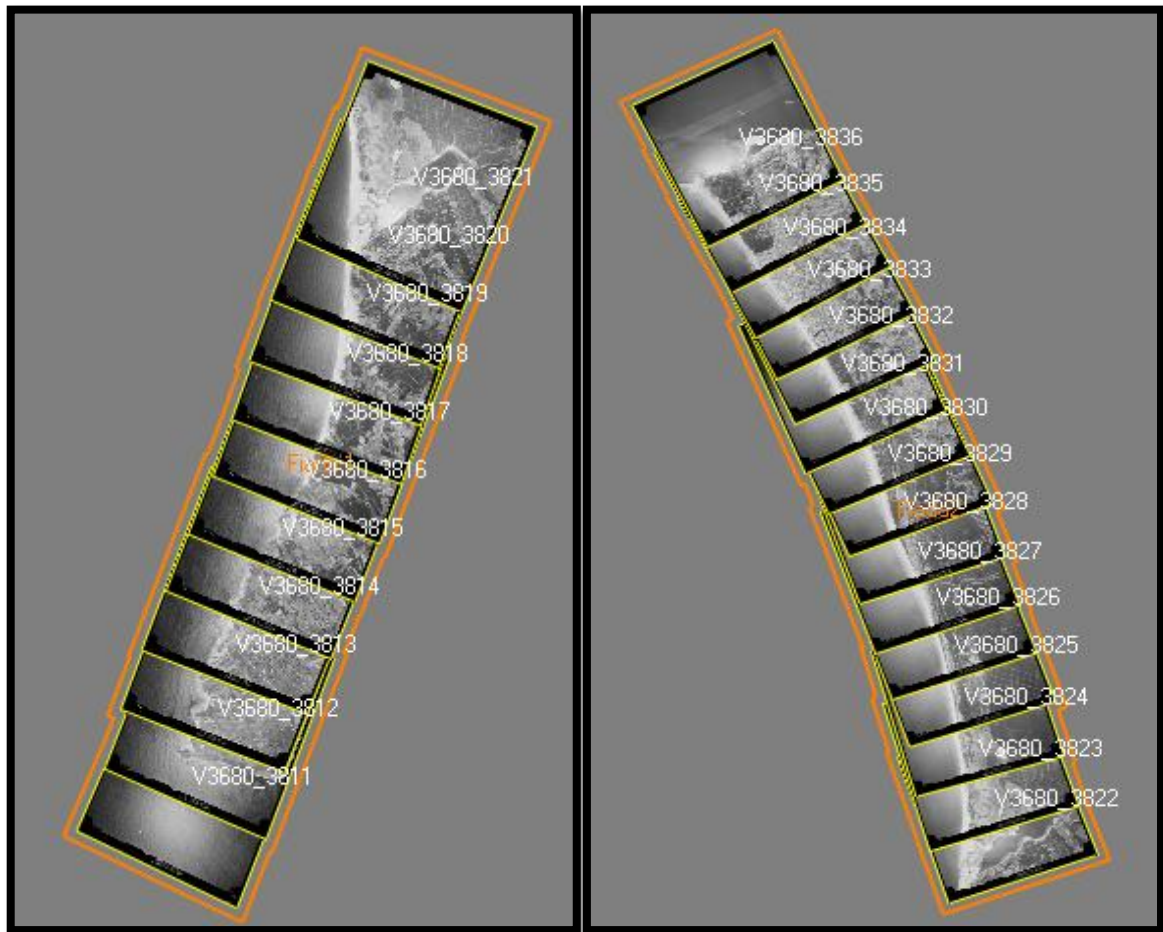


Figura III.10 - Projetos relativos ao voo de 1980

Inicialmente e como no caso do voo anterior, é necessário definir a câmara e a informação que lhe está associada, utilizando para tal o certificado de calibração em anexo.

Camera

Import Export Standard cameras

Camera: Wild RC10 [1].x-cam

Camera type

☐ Digital ☒ Film

Show digital camera parameters in

☒ mm ☐ pix

Focal length, mm: 152.3100

Calibration date: 7/13/2013

Principal point, mm: X: 0.0000 Y: 0.0130

Description:

Fiducial marks

Fiducial coordinates

Fiducial marks template: None

#	X, mm	Y, mm
1	-105.9960	105.9970
2	105.9990	106.0000
3	106.0050	-106.0060
4	-106.0060	-106.0070

Distortion

4 directions "?"

Point of symmetry (zero distortion), mm: X: 0.0040 Y: 0.0120

To principal point

R, mm	dR1, micron	dR2, micron	dR3, micron	dR4, micron
10.0000	3.000	4.000	2.000	1.000
20.0000	3.000	6.000	4.000	4.000
30.0000	5.000	6.000	7.000	4.000
40.0000	8.000	8.000	9.000	6.000
50.0000	6.000	8.000	7.000	7.000
60.0000	7.000	4.000	6.000	3.000
70.0000	6.000	4.000	5.000	3.000
80.0000	2.000	3.000	1.000	1.000
90.0000	-1.000	-1.000	-3.000	-2.000
100.0000	-4.000	-5.000	-6.000	-6.000

1 4
3 2

Figura III.11 - Definição da câmara do voo de 1980

Relativamente à definição da OI de cada imagem, procede-se à associação de coordenadas a cada uma das quatro marcas fiduciais presentes nesta. O processo referido é manual e obriga a que seja cumprida a tolerância de erro nas coordenadas ajustadas de 0,021mm correspondente à dimensão do pixel das imagens digitalizadas.

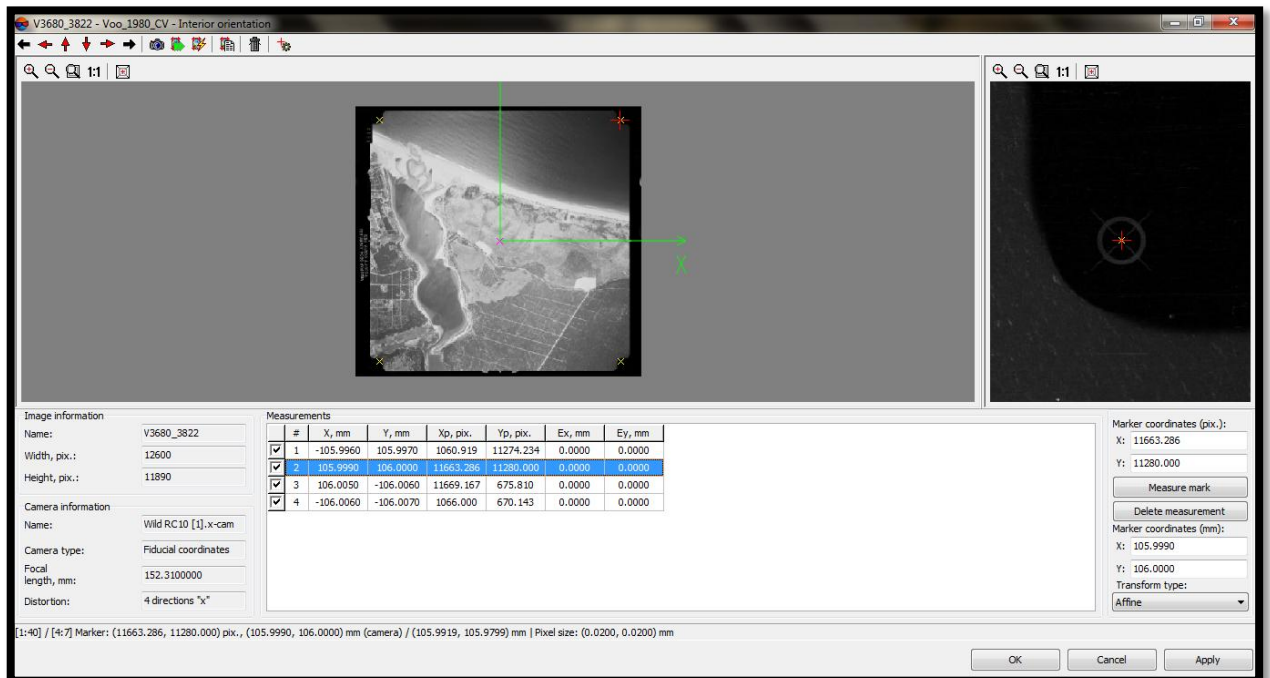


Figura III.12 - Definição da OI

Durante o processo de definição da OI, houve que enfrentar alguns problemas. Isto porque a imagem que se encontra no certificado de calibração, relativa à orientação dos eixos das fotografias não coincide totalmente com as fotografias fornecidas. Após algumas tentativas e alguns erros, chegou-se à conclusão de que o eixo dos XXfoto, encontra-se orientado para Norte, enquanto que o dos YYfoto para Oeste. O eixo dos XX é bastante importante, pois coincide com a direção de voo.

A etapa seguinte tem como objetivo encontrar pontos comuns entre as fotografias de 1980 e 2010 (PFs). Estes pontos tem associadas coordenadas terreno referentes a 2010. O grande volume de pontos encontrados, obriga a que a informação sobre estes seja devidamente organizada, de modo a facilitar todos os processos seguintes. A opção encontrada para essa organização, foi a criação de uma base de dados construída em Microsoft Acces.

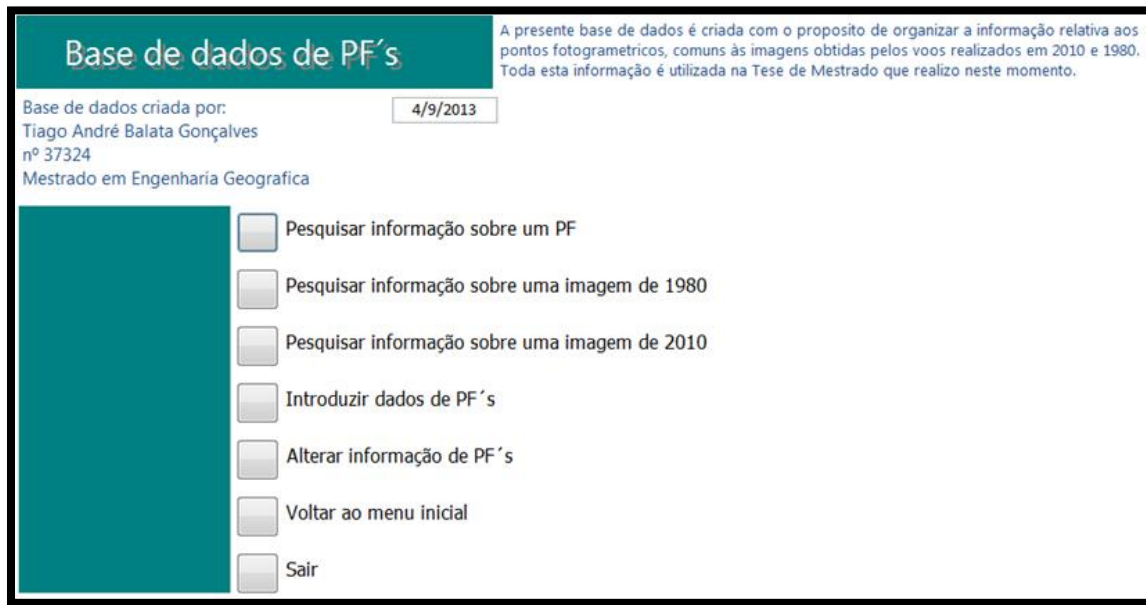


Figura III.13 – Interface da base de dados

As opções criadas para a base de dados, permitem que a consulta a cada PF seja rápida e eficaz. Nesta base de dados é também possível adicionar novos PF, e mais importante ainda, pode ser reutilizada em estudos futuros.

No total foram detetados 67 pontos comuns às duas coberturas. Todos estes têm associadas fichas bem como as suas coordenadas terreno obtidas dos modelos estereocópicos de 2010. De todos estes pontos apenas seis foram utilizados como PF's, os restantes são pontos de apoio.

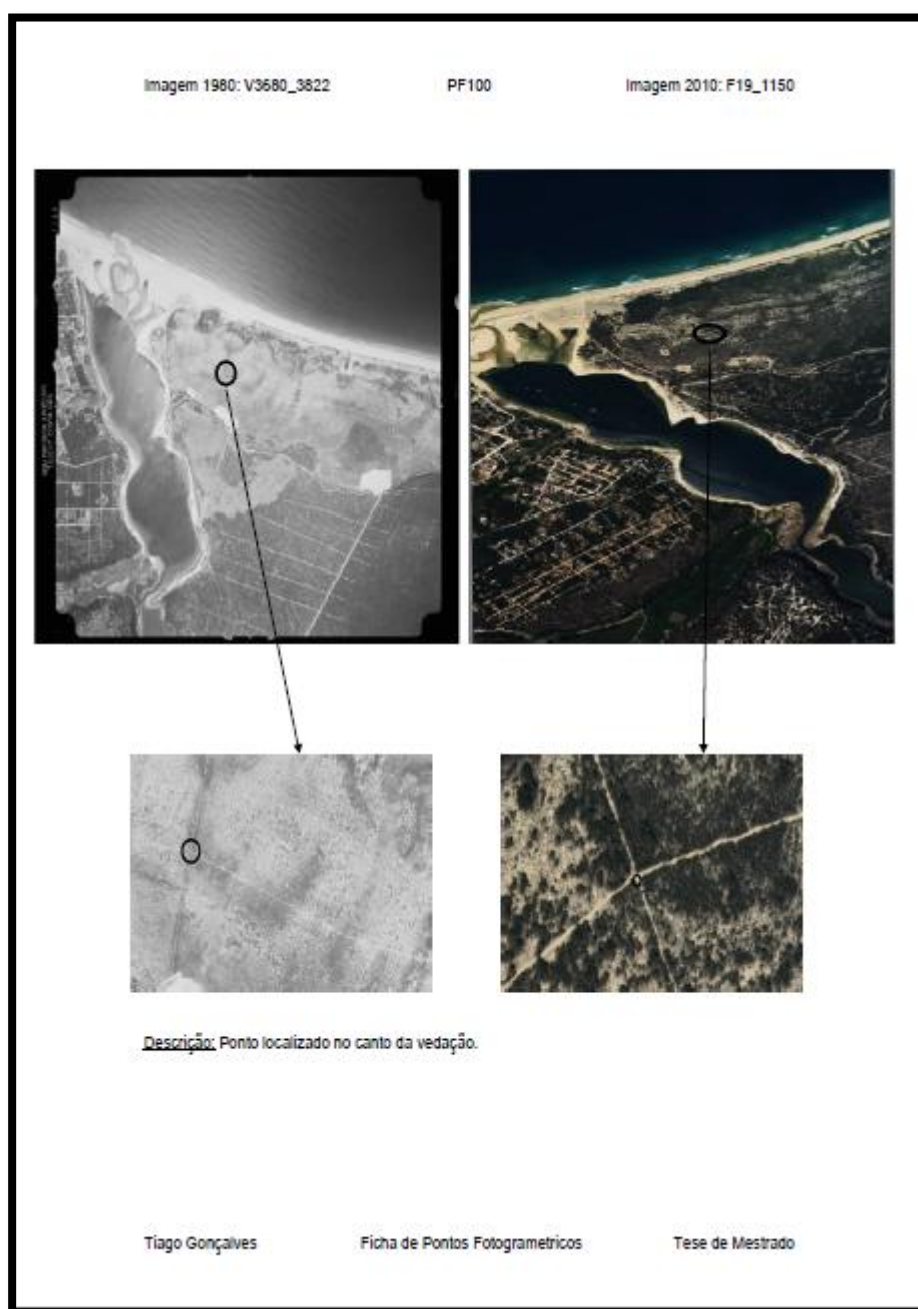


Figura III.14 - Exemplo de uma ficha de PF

De modo a iniciar o processo de Aerotriangulação é necessário elaborar uma GCPlist, que contém o nome do PF e as coordenadas a ele associadas. Esta lista é posteriormente carregada para o software de modo a ser utilizada para marcação de PF, e correspondente associação de coordenadas.

Code	Name	Type	X, m	Y, m	Z, m	Std. dev. X, m	Std. dev. Y, m	Std. dev. Z, m	Number of meas.
1	PF100	Excluded	-90972.47284	-126871.37	57.528179	0.2	0.2	0.2	2
2	PF101	Ground Control	-89485.71117	-126321.9338	22.606848	0.2	0.2	0.2	2
6	PF105	Ground Control	-92680.24831	-120870.0255	18.254769	0.2	0.2	0.2	3
7	PF106	Ground Control	-91046.77161	-119936.0307	71.573581	0.2	0.2	0.2	3
8	PF107	Ground Control	-94532.31454	-115937.547	14.660144	0.2	0.2	0.2	3
10	PF109	Ground Control	-96799.3236	-111931.0533	8.550668	0.2	0.2	0.2	3
11	PF110	Ground Control	-94847.94129	-110608.872	112.843475	0.2	0.2	0.2	3
13	PF112	Excluded	-94962.57276	-112806.688	88.398831	0.2	0.2	0.2	3

Figura III.15 - GCP list

Continuando o processo de Aerotriangulação, após a marcação de todos os PFs passa-se à marcação de pontos homólogos. Estes são pontos comuns entre diferentes fotografias, e devem ser preferencialmente identificados sempre que surgem numa imagem. É ainda exigido que estes pontos, quando ajustados automaticamente após dada uma posição aproximada, apresentem um coeficiente de correlação entre as várias fotografias superior a 85%.

Após estarem medidas as coordenadas foto de todos os PFs e de todos os pontos homólogos estão reunidos os dados necessários para proceder ao ajustamento.

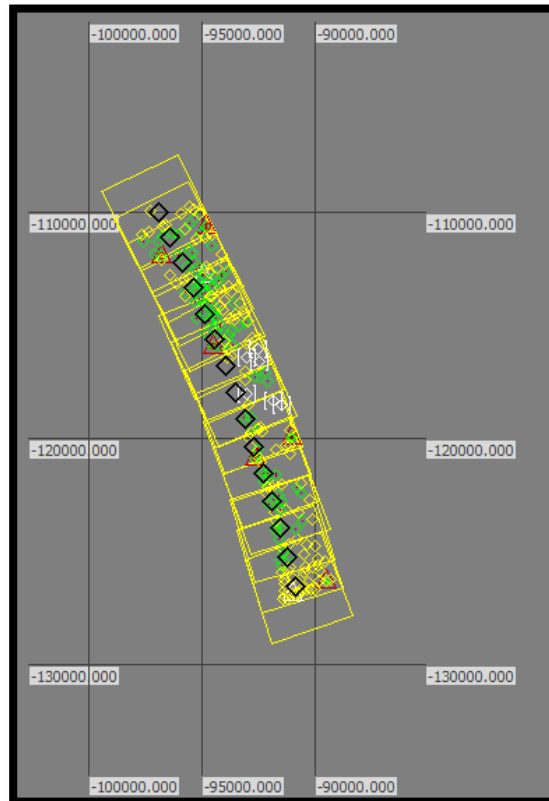


Figura III.16 - Resultado do ajustamento

Após o ajustamento estar terminado, estão reunidas as condições para que se inicie a restituição das linhas de crista e base da arriba. Como referido, o objetivo é a comparação entre as duas épocas de estudo e como tal, apenas serão restituídas as zonas que sofreram alterações entre 1980 e 2010.

Comparando a qualidade das fotografias de cada voo, conclui-se que as de 2010 são muitos superiores nesse parâmetro. Estando a qualidade das fotografias diretamente ligada à qualidade da restituição, é lógica a decisão de primeiro restituir no projeto de 2010, toda a zona costeira, deixando para o projeto de 1980 a restituição apenas das alterações existentes.

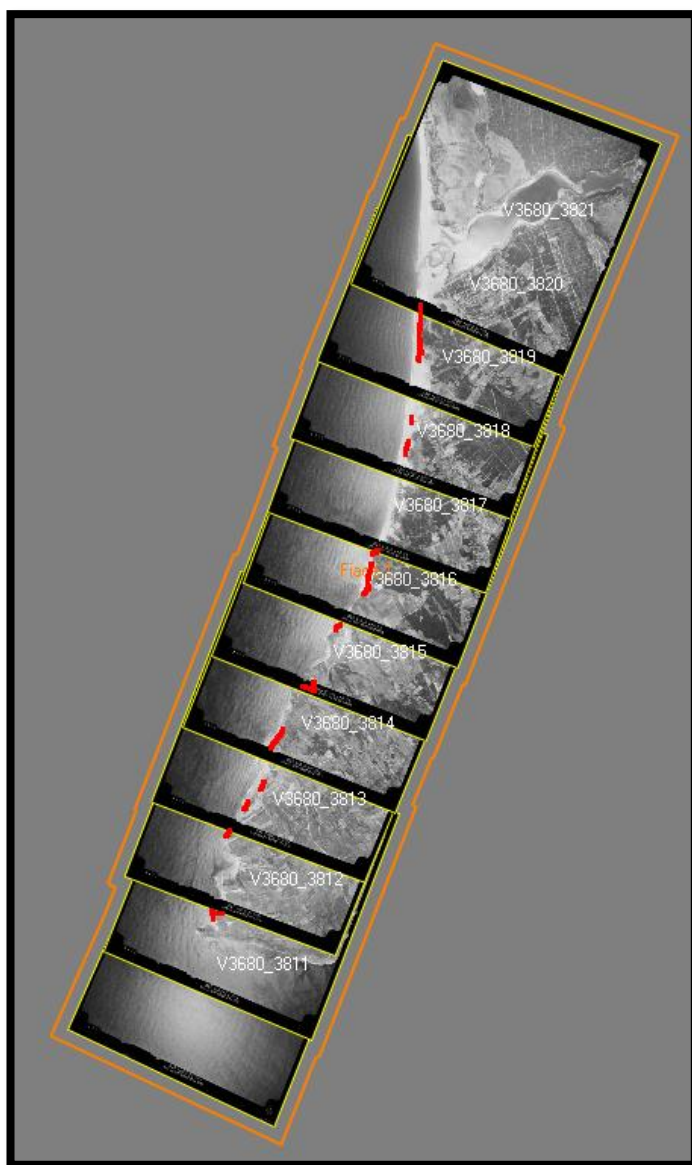


Figura III.17 - Resultado da restituição de 1980

3.2. Campanhas de campo

As campanhas de campo têm um papel bastante importante na fotogrametria. No caso do presente projeto estiveram envolvidas em muitas etapas, nomeadamente nos processos relativos à Fotogrametria Terrestre. As referidas campanhas tiveram como objetivo, a obtenção de coberturas fotográficas dos objetos alvo de estudo, no caso, arribas em praias, e a obtenção de apoio topográfico para as coberturas referidas.

Todas as campanhas realizadas, tiveram a orientação da doutoranda Rita Matildes. Para além da obtenção de dados, estas atividades tiveram como objetivo a formação dos mestrandos na realização de trabalhos do mesmo género que poderão vir a realizar no futuro.

De seguida são abordadas as campanhas realizadas, falando sobre os seus objetivos, dados obtidos e afins.

3.2.1. Cobertura fotográfica e apoio topográfico

A primeira campanha realizou-se a 9 de Outubro de 2012 na Praia da Adraga, localizada em Sintra. Esta praia é alvo de estudo neste projeto no âmbito da obtenção de nuvens de pontos 3D, assunto abordado mais à frente.

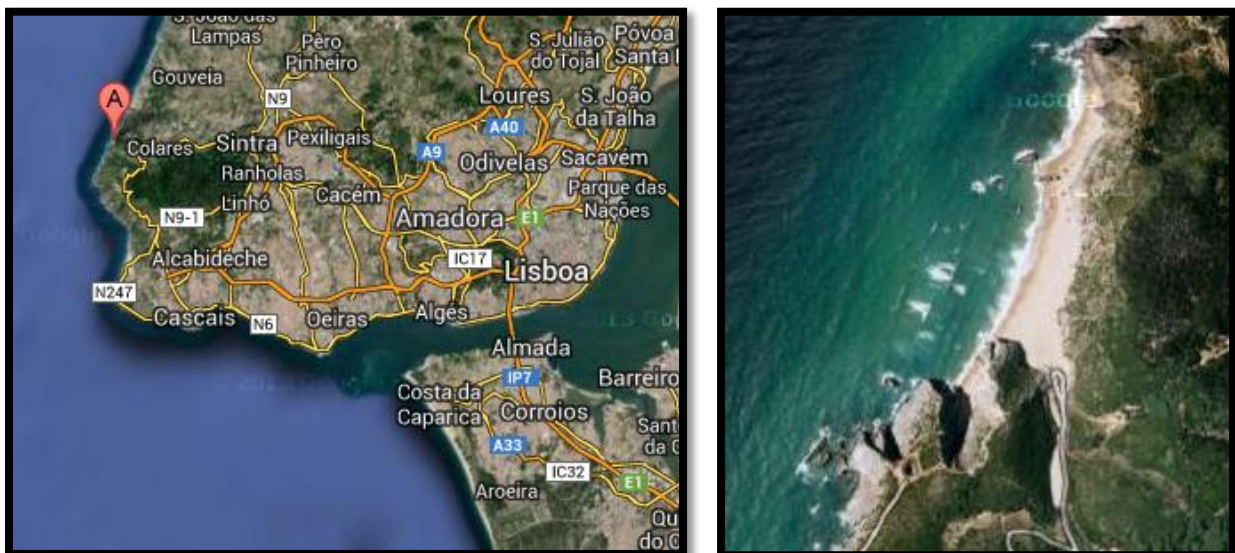


Figura III.18 - Praia da Adraga

O objetivo desta campanha é a criação do MDE da arriba da praia, de modo a iniciar o estudo da evolução da mesma. Este estudo continuará com base em novas campanhas, realizadas no futuro.

Relativamente ao apoio topográfico, foram coordenados através de GPS três pontos, localizados na praia, sendo que um destes foi considerado de referência, para o qual foram feitas as orientações a partir dos outros dois.

Através dos dois pontos referidos, foi feita a coordenação dos PF's localizados na arriba, utilizando a estação total TS02. As coordenadas dos PF's referidos, encontram-se na tabela abaixo. Estes são bastante importantes pois são utilizados na georreferenciação da nuvem de pontos. Este tema é abordado no próximo capítulo.

Tabela III.2 - Coordenadas dos PFs

PFs	X (m)	Y (m)	Z (m)
A2	-117457.7336	-95263.4235	6.6539
A3	-117466.0448	-95265.1338	15.8612
A6	-117473.6843	-95238.3846	4.8493
A7	-117483.4837	-95229.1674	16.1262
A10	-117483.1525	-95213.4185	4.2382
A13	-117516.8631	-95212.7260	21.8480
A14	-117515.1239	-95207.6630	3.1422

Em paralelo ao processo de medição foi realizado o levantamento fotográfico do local, através da realização de duas fiadas de fotos com eixos paralelos, sendo utilizada uma distância à arriba de 10 metros e uma base de 5 metros, de modo a obter uma sobreposição de 70% nas fotografias.

A câmara utilizada no levantamento fotogramétrico foi a NIKON D80, com uma objetiva Samyang, uma distância focal de 14 mm e com uma abertura F18.

Na tabela abaixo surgem as coordenadas dos 3 pontos referidos inicialmente em ETRS 89.

Tabela III.3 - Coordenadas dos Pontos estação e referência

	X (m)	Y (m)	Z (m)
Ponto de Referência	-117408,014	-95260,580	6,427
Estação 1	-117452,038	-95227,162	3,932
Estação 2	-117480,337	-95190,027	3,137

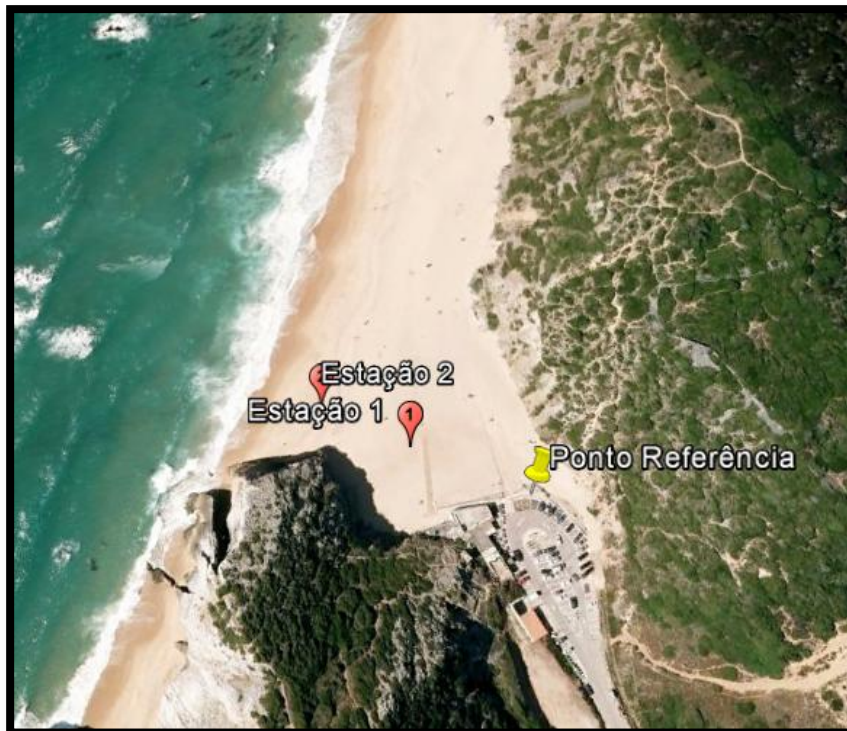


Figura III.19 - Localização dos pontos (Praia da Adraga)

A distribuição dos dois pontos estação, tem como objetivo a cobertura de toda a zona a estudar pelo menor número de estações. O ideal seria a utilização de apenas uma estação, pois dessa forma os erros seriam reduzidos ao mínimo. No caso da praia da Adraga, pela sua configuração, é necessário utilizar duas estações, o que ainda assim associa bastante confiança à qualidade dos dados obtidos.

A segunda campanha realizou-se a 23 de Outubro de 2012 na Praia de São Bernardino. Tal como na campanha anterior, o objetivo é criar o MDE da arriba da praia, de modo a iniciar o estudo da evolução da mesma, que continuará com base em novas campanhas, realizadas no futuro. Foi novamente utilizado o GPS na coordenação de pontos, desta vez apenas dois, localizados na praia, sendo que um destes foi considerado como ponto de referência, e o outro como ponto estação.



Figura III.20 - Praia de São Bernardino



Figura III.21 - Localização dos pontos (Praia de São Bernardino)

Tabela III.4- Coordenadas dos Pontos estação e referência

	X (m)	Y (m)	Z (m)
Ponto de Referência	-104704,117	-38834,160	5,358
Estação	-104665,421	-38952,130	1,693

A partir do ponto estação, foi feita a coordenação dos PF's localizados na arriba, utilizando a estação total TS02.

Em paralelo a este processo de medição foi realizado um levantamento fotogramétrico do local, com as mesmas condições aplicadas à campanha anterior. A câmara utilizada no levantamento fotogramétrica foi novamente a NIKON D80.

As coordenadas relativas aos PF's não se encontram neste relatório, pois, para além da campanha de campo, não desenvolvi qualquer estudo relativamente à praia e aos dados associados à mesma.

3.3. Nuvem de pontos 3D

Relativamente à nuvem de pontos 3D, esta é criada com base nas fotografias obtidas na campanha de campo. Inicialmente é criada uma nuvem em ambiente Photo Modeler Scanner, que é o software mais utilizado para este efeito, e em seguida é obtida uma outra nuvem partindo das mesmas fotografias, mas desta vez utilizando o software Visual SFM, que aplica os referidos algoritmos SFM.

3.3.1. Photo Modeler Scanner

Todos os processos que abaixo se apresentam têm associada uma ordem cronológica. Inicialmente são inseridos no software os dados de calibração da câmara e são importadas todas as fotografias que se pretendem utilizar.

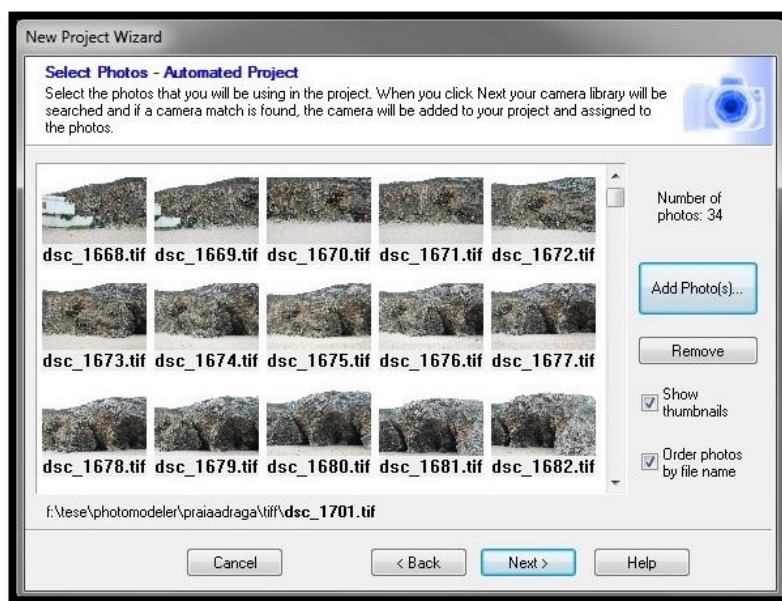


Figura III.22 - Importação de imagens

Em seguida é necessário recuperar a OR das fotografias, para o que são marcados pontos homólogos entre as várias fotografias através da opção SmartMatching (marcação automática de pontos). Após a utilização do SmartMatching a OR é processada, não devendo esta ter um valor de erro muito elevado (máximo tolerável: 5 pix, no caso deste projeto o valor é de 2.4 pix), e deste modo resulta um modelo 3D num referencial arbitrário.

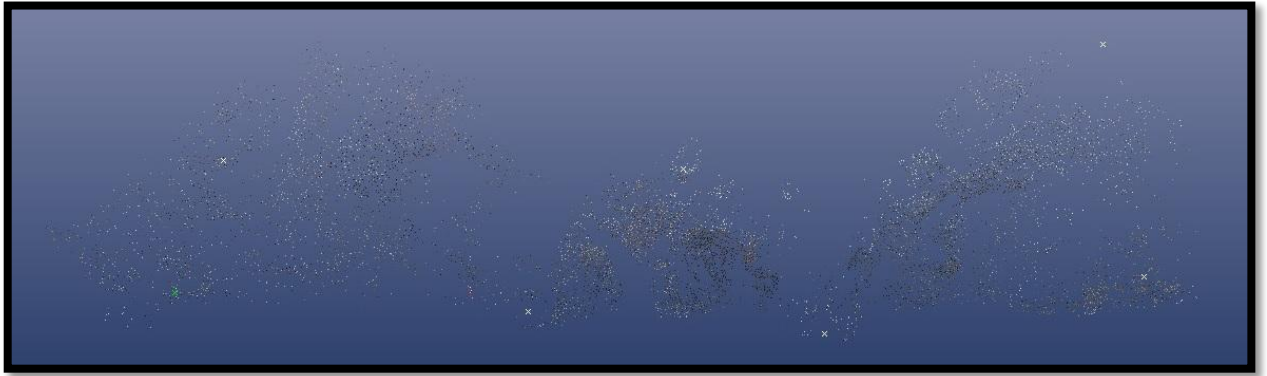


Figura III.23 - Nuvem arbitrária resultante do SmartMatching. Assinalados por cruzes brancas estão os PFs.

Neste momento uma primeira nuvem está criada e em seguida é necessário recuperar a OA do modelo total. Isso implica a importação das coordenadas dos PFs que se pretendem utilizar, para o que é necessário definir um sistema de coordenadas.

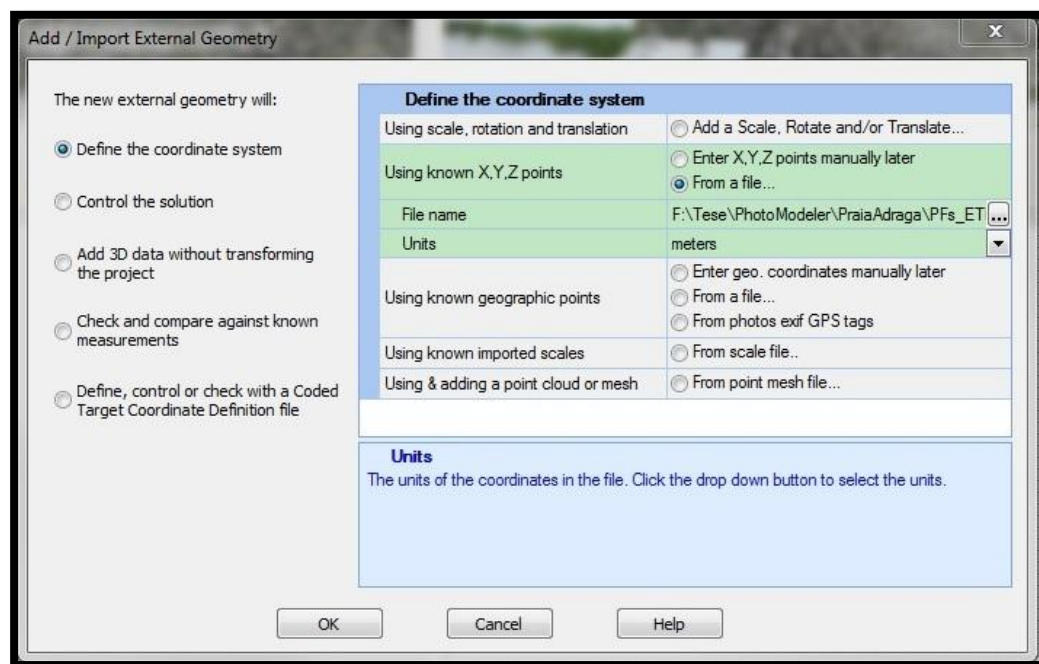


Figura III.24- Criação de um sistema de coordenadas

De seguida são marcados os PFs nas fotografias onde estes surgem, e no final o projeto é novamente processado, mantendo-se as condições de aceitação referidas acima.

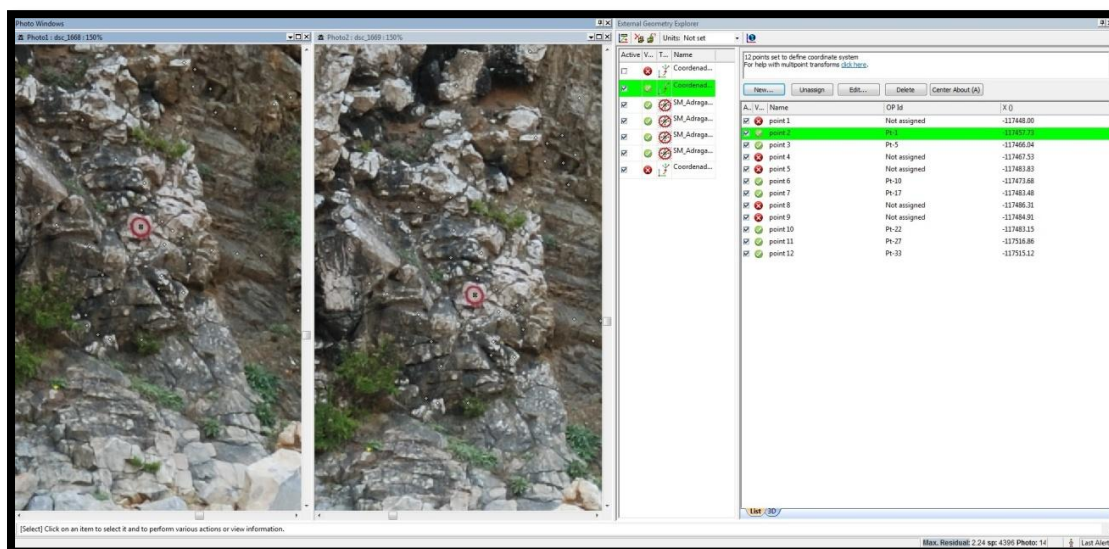


Figura III.25 - Marcação de um PF

Por fim é criado o Modelo 3D final já georreferenciado, o qual consiste na criação de uma segunda nuvem de pontos. Esta nuvem surge a partir da criação de pequenas nuvens entre cada par de fotografias. Desta forma, erros na criação das nuvens são mais facilmente identificados.

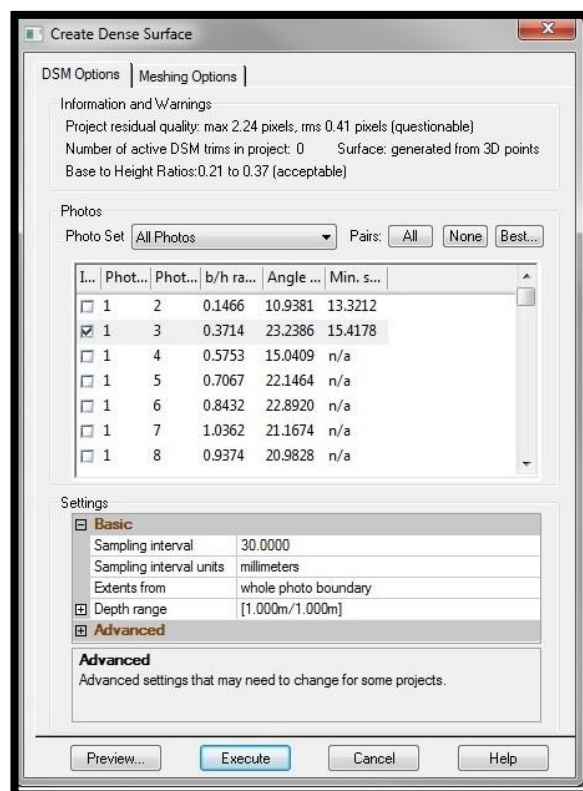
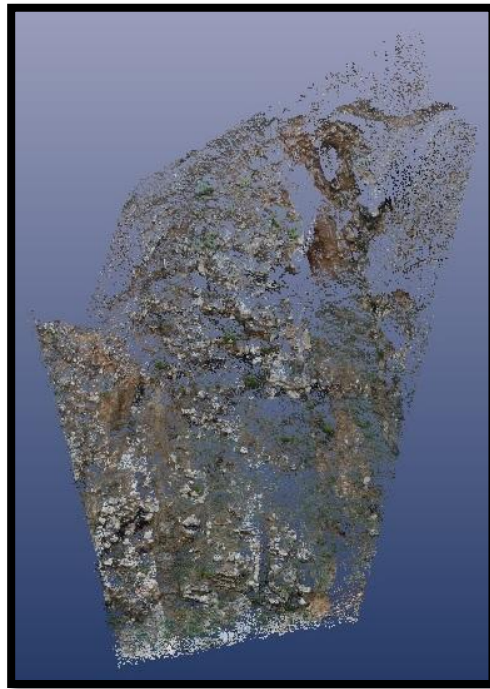


Figura III.26 - Exemplo de criação de uma nuvem densa



III.27 - Nuvem de pontos parcial

As imagens acima representam o resultado da criação de uma nuvem densa de pontos entre um par de fotografias. Apesar da criação de nuvens par a par tornar o processo mais lento, oferece-lhe maior fiabilidade. Após todas as pequenas nuvens estarem criadas, são unidas numa só nuvem, e essa sim constitui o modelo 3D final.

3.3.2. Visual SFM

Relativamente a este software, por ter uma grande importância neste trabalho, achou-se adequado redigir um tutorial de utilização do mesmo que se encontra em anexo. Tal como no caso anterior os processos que abaixo se apresentam tem associada uma ordem cronológica.

Inicialmente são importadas todas as fotografias que se pretendem utilizar, sendo que desta vez não é necessário associar quaisquer dados de calibração da câmara utilizada. As fotografias são exatamente as mesmas que foram utilizadas no caso do programa anterior, de modo a permitir uma melhor comparação entre os resultados dos dois programas.

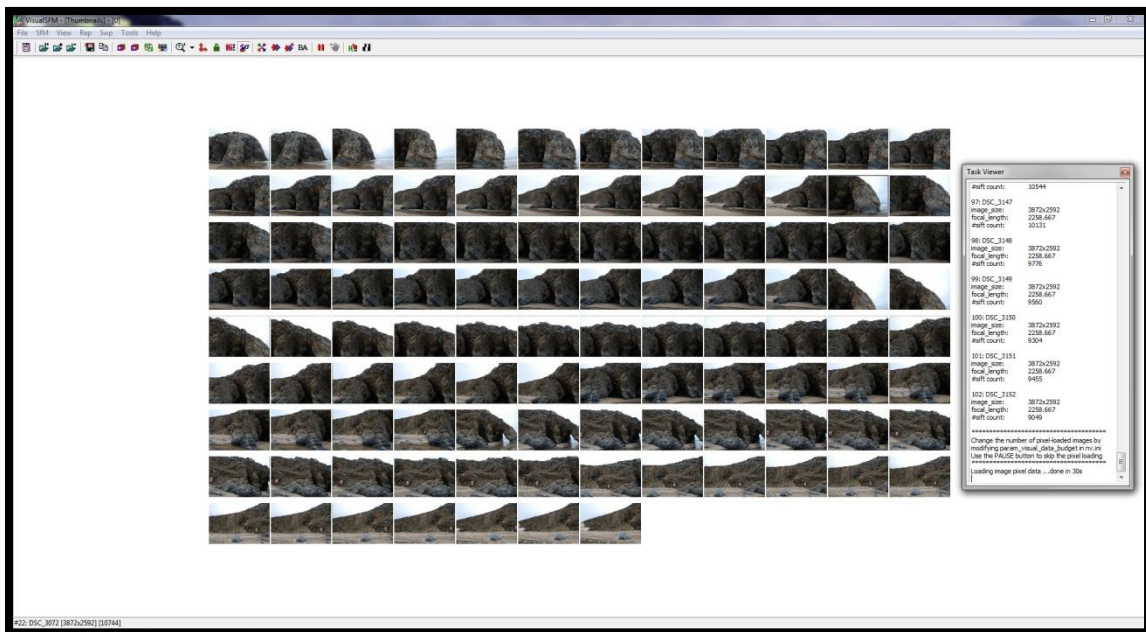


Figura III.28 - Importação de imagens

Em seguida é recuperada a OR das fotografias, o que implica a marcação de pontos homólogos entre as várias fotografias através da utilização do algoritmo SIFT.

Após a OR estar recuperada é gerado o Modelo 3D utilizando o algoritmo PBA. Através do PBA é criado um modelo que constrói a nuvem, podendo por vezes este ser interrompido pela impossibilidade de marcar novos pontos por não encontrar uma fotografia com suficientes pontos comuns com o modelo que já está criado. Nestes casos é iniciada a criação de um novo modelo independente do anterior.

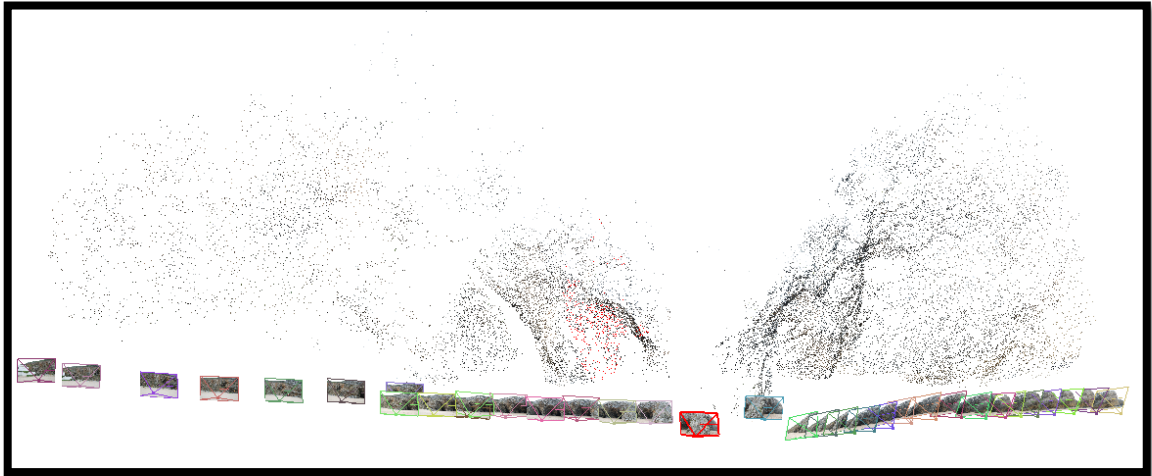


Figura III.29 - Nuvem esparça que resulta do algoritmo PBA

A partir da aproximação anterior é possível criar o modelo final, através do algoritmo CMVS/PMVS.

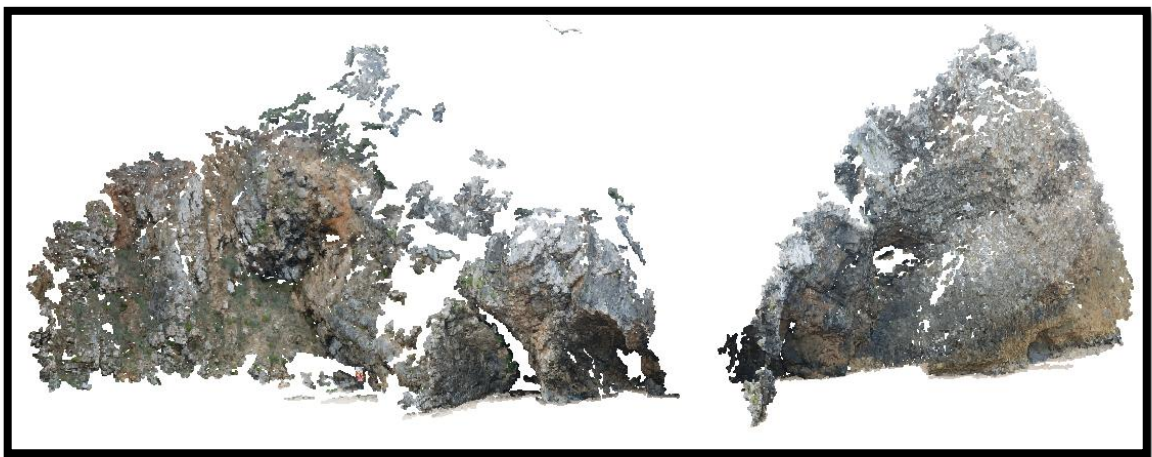


Figura III.30 - Modelo Final

Neste momento a nuvem está criada mas não tem quaisquer coordenadas associadas. Para tal é necessário recuperar a OA. Para isso é necessário marcar os PFs obtidos previamente nas fotografias onde estes surgem, associando-lhes as suas coordenadas terreno.

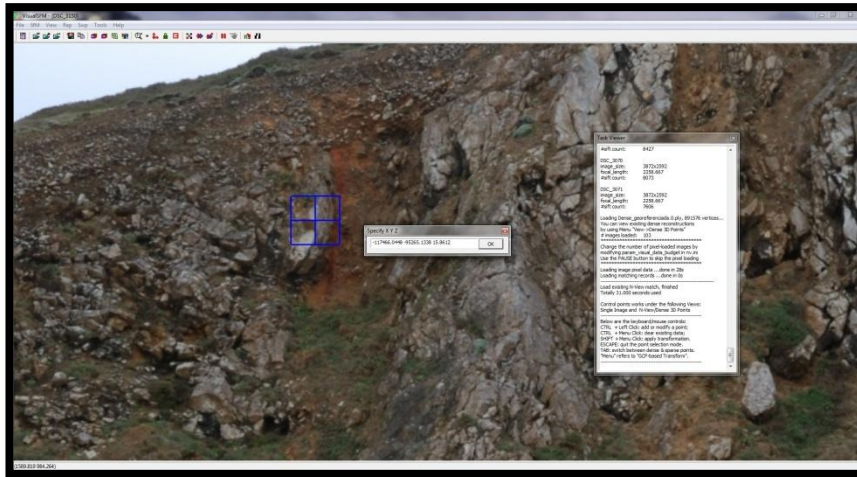


Figura III.31 - Marcação de um PF

Após a marcação de todos os pontos, o modelo deve ser processado utilizando as coordenadas dos PFs marcados sendo possível desta forma obter o modelo 3D final.

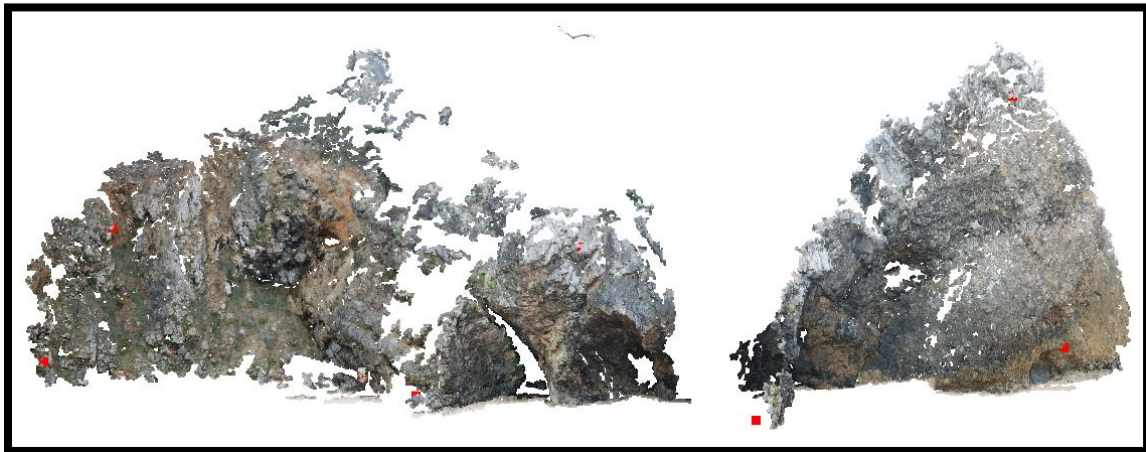


Figura III.32 - Localização dos PFs (a vermelho) na nuvem total.

Os PFs utilizados neste projeto encontram-se identificados na figura acima com quadrados vermelhos. Estes são os mesmos pontos utilizados no projeto do Photo Modeler Scanner.

Como referido inicialmente, pretende-se realizar um estudo da evolução geológica das arribas em estudo, pelo que se realizou uma nova campanha de campo após o Inverno de modo a obter novas fotografias deste mesmo local.

Verificaram-se grandes diferenças devido à perda de uma grande quantidade de areal na praia em questão. Ainda assim foi possível obter uma nuvem de pontos para esta nova época.

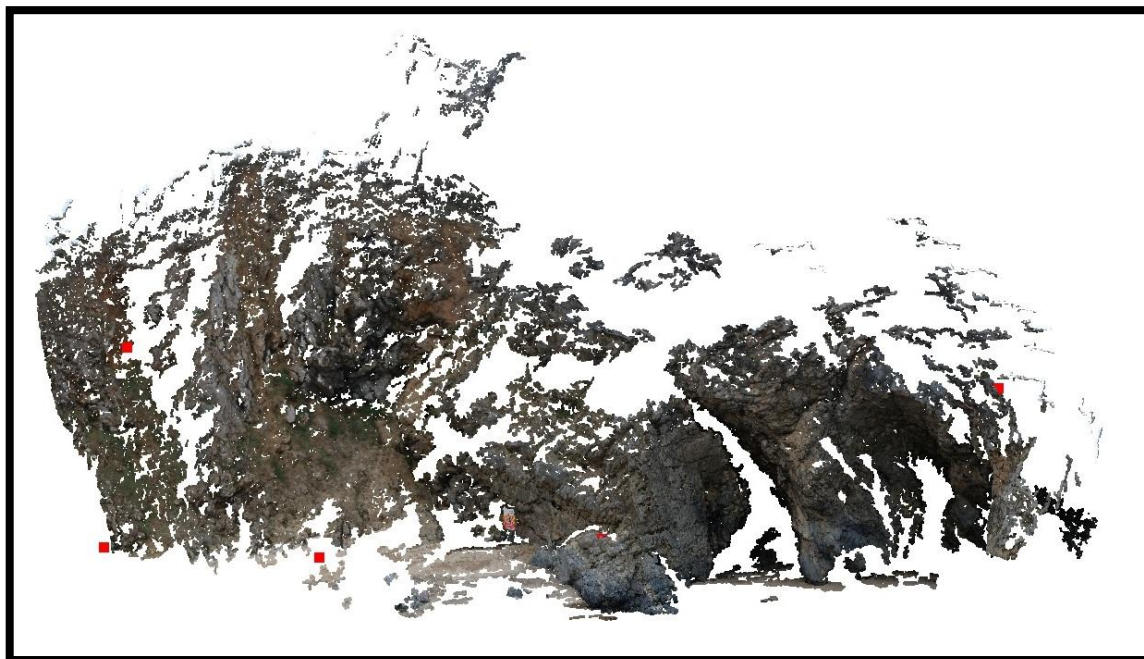


Figura III.33 - Nuvem relativa à nova época de observação

No quinto capítulo pode-se verificar quais as diferenças encontradas entre as diferentes épocas.

Capítulo IV - Resultados

No presente capítulo são feitas referências aos resultados obtidos em cada um dos processos realizados neste projeto. Inicialmente são abordados os processos relativos às coberturas aéreas. Em seguida, são comentados os resultados dos estudos relativos às nuvens de pontos, resultantes da aplicação dos dois programas referidos anteriormente. Apenas no capítulo V são retiradas as conclusões devidas, que estão relacionadas com os objetivos inicialmente traçados.

4.1. Coberturas aéreas

Relativamente às coberturas aéreas, realizaram-se dois estudos distintos, um relativamente a um voo realizado em 1980, e um segundo relativo a um outro datado de 2010.

Como referido anteriormente foi necessário efetuar diferentes abordagens para cada um dos dois casos, tendo surgido maiores dificuldades no caso do voo de 1980. A qualidade das fotografias e a dificuldade inicial para associar os dados corretos do certificado de calibração prejudicaram um pouco os resultados obtidos. Os efeitos dessas dificuldades verificam-se no processo final de restituição, pois em determinadas zonas de algumas fotografias, a tarefa de restituição era bastante difícil, prejudicando a precisão dos resultados obtidos. Apesar de todos os contratempos referidos os resultados são aceitáveis para os dados utilizados e face ao objetivo a que se destinam.

No caso do voo de 2010 não se verificaram grandes dificuldades. A boa qualidade das fotografias e os dados do certificado de calibração facilitaram todo o processo. Outro ponto favorável em relação aos dados relativos a este voo, é o fato do processo de Georreferenciação utilizado ser bastante rápido de realizar, sem que seja necessária a intervenção do operador. Na fase de restituição, apenas se verificaram dificuldades iniciais na identificação do que é realmente necessário restituir.

Relativamente aos dois projetos realizados para cada voo, a fase de restituição foi a mais longa, tendo sido necessário realizar algumas alterações ao longo destes processos. A alteração mais importante a assinalar é relativamente aos locais restituídos. Inicialmente o pretendido era toda a arriba costeira desde o Cabo Espichel à Cova do

Vapor, o que se verificou ser algo desnecessário, visto que na costa entre a Lagoa de Albufeira e a Cova do Vapor, existem poucas zonas com arriba costeira. Considerando este facto, apenas se considerou necessário restituir a arriba costeira entre o Cabo Espichel e a Lagoa de Albufeira.

Os dados relativos à restante zona costeira, foram utilizados apenas para georreferenciação para permitir posteriores restituições de outro tipo de informação, um processo não tão importante como a restituição mas que é necessário realizar.

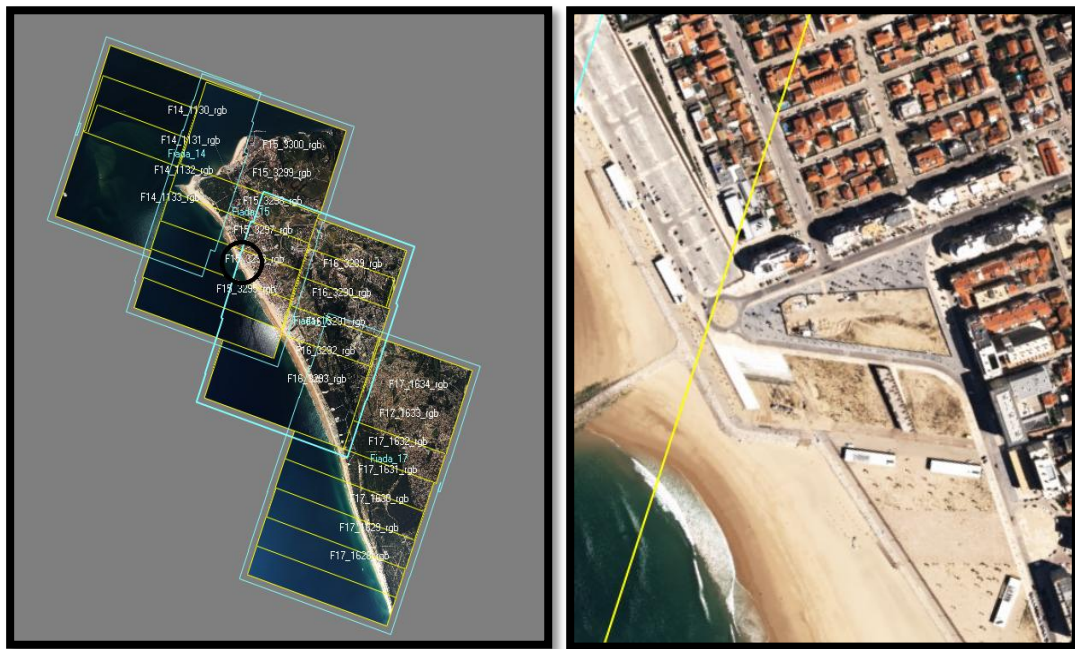


Figura IV.1 - Exemplo de um zona que não é necessário restituir.

Na imagem da direita, é possível verificar que não existe qualquer arribas costeira, como tal não é possível realizar qualquer tipo de resituição neste local, sendo apenas utilizado para fins de georreferenciação.

De seguida são apresentados os resultados finais, tanto dos processos de georreferenciação como de restituição realizados para cada um dos voos considerados.

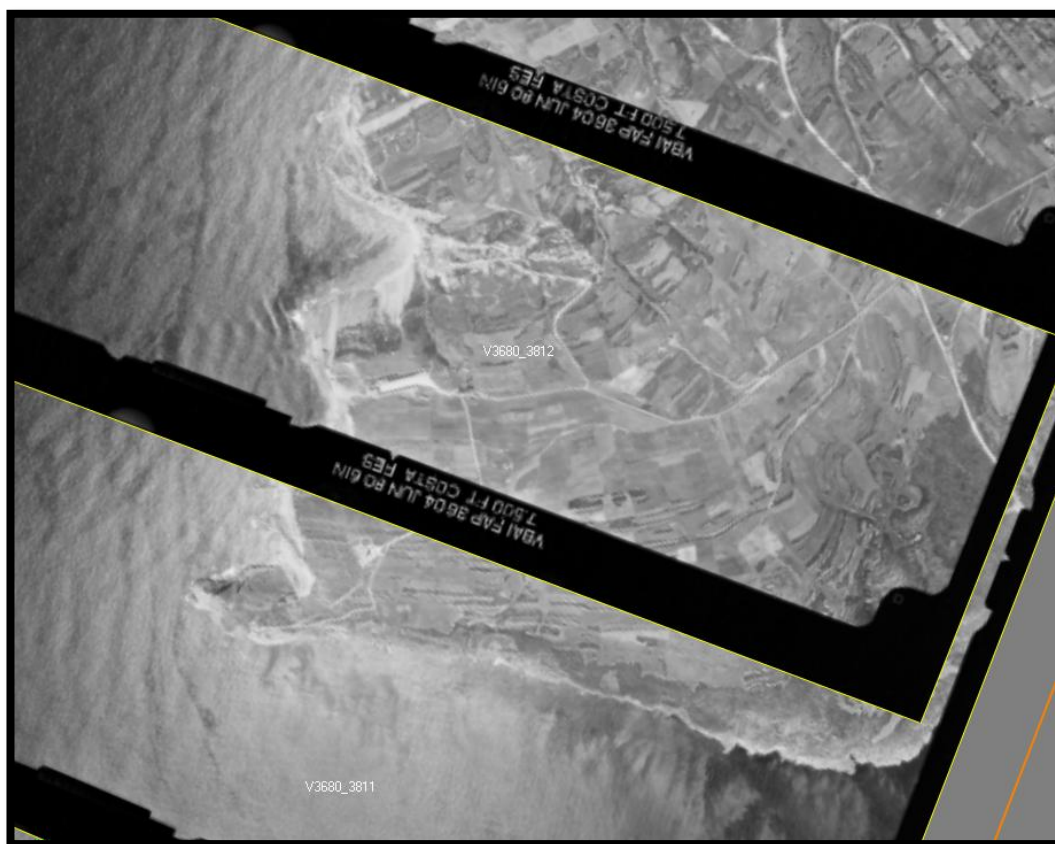


Figura IV.2 – Fotografias de 1980 georreferenciadas

Na imagem acima, é ilustrado o resultado da georreferenciação de algumas fotografias de 1980, que representam o Cabo Espichel. Os dados da aerotriangulação realizada para os dois projetos de 1980 encontram-se em anexo.



Figura IV.3 - Fotografias de 2010 georreferenciadas

Desta vez, estamos na presença de dados do voo de 2010 georreferenciados. Neste local pode-se vislumbrar a arriba costeira junto ao mar, pelo que esta zona é alvo de restituição. Como indica a legenda da imagem, esta representa duas fotografias já georreferenciadas, a linha amarela delimita a zona abrangida por cada uma.



Figura IV.4 - Exemplo de restituição no projeto de 2010, linha de crista de arriba



Figura IV.5 – Exemplo de restituição no projeto de 2010, linha de crista e base de arriba

Nas figuras anteriores encontram-se representadas imagens, de locais onde foram efetuados processos de restituição, a linha representada a vermelho é relativa à crista da arriba, enquanto que a amarelo temos a linha da base da arriba. A linha da base da arriba é mais difícil de identificar, isto porque o angulo de visão da fotografia nem sempre permite que a base da arriba seja identificada, o que impossibilita restituir essa mesma base por estar oculta ou em sombra.

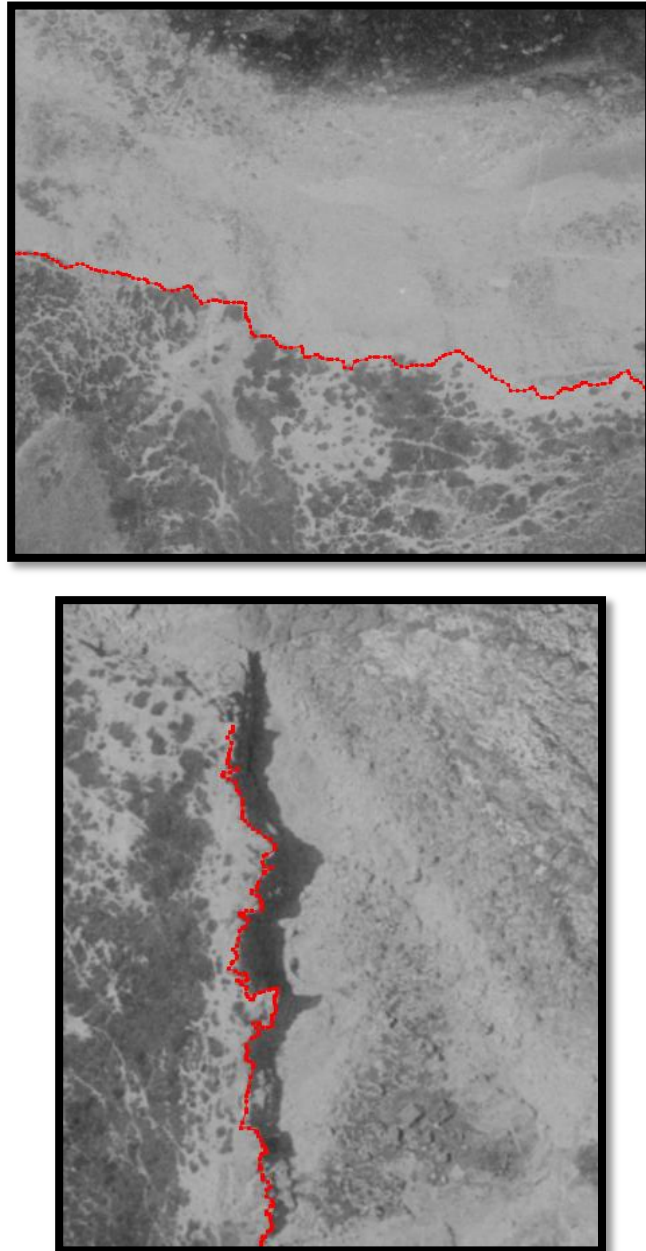


Figura IV.6 - Exemplo de restituição no projeto de 1980, linha de crista de arriba

Desta vez, estamos na presença da restituição dos dados do voo realizado em 1980, a zona restituída é muito menor, devido ao fato de se ter optado por apenas restituir os locais, onde se verificavam diferenças para linha da crista de arriba do voo de 2010. As diferenças referidas resultam nas linhas a vermelho representadas nas imagens acima. Neste caso não foi possível identificar a linha de base da arriba, devido ao ângulo das fotografias obtidas. No quinto capítulo é possível encontrar uma imagem que sobrepõe ambas as linhas de crista de arriba, tanto de 1980 como de 2010, o que permite realizar as devidas comparações.

4.2. Nuvens de pontos

4.2.1. Photo Modeler Scanner

Os processos referidos anteriormente, são rápidos de realizar, sem que seja necessário um grande envolvimento do operador, excetuando na marcação dos PFs e criação do modelo 3D final.

A calibração da câmara é importante, pois os seus parâmetros são necessários para que se possa iniciar um projeto destes. E tão importante como o que foi acima referido é o facto da câmara que obtém as fotografias ter de se encontrar nas mesmas condições aquando da data de calibração.

A qualidade das fotografias utilizadas é algo muito relevante para que um projeto destes seja bem sucedido. As sobreposições referidas devem ser respeitadas, bem como os ângulos entre os eixos fotográficos. Todas as exigências referidas condicionam as fases do projeto, e o seu incumprimento pode tornar um projeto rápido de realizar em algo de veras moroso.

Existem no entanto outras formas de realizar os processos referidos, como por exemplo no caso da Orientação Relativa das fotografias. Ao invés da utilização de um processo automático de marcação de pontos homólogos, esta marcação ser feita pelo operador humano. Em alguns casos, onde as fotografias não são de grande qualidade e onde as exigências de sobreposição não são respeitadas, não é possível utilizar a opção Smart Matching, levando à necessidade de realizar um processo muito dependente do utilizador. A marcação manual de pontos homólogos é um processo longo, o que é uma grande desvantagem.

No caso da Orientação Absoluta, podem existir variações no processo de introdução tanto dos PFs como das suas coordenadas terreno. Ainda assim verifica-se que a introdução destes após a marcação dos pontos homólogos, é bastante melhor e oferece melhores resultados do que se for realizado antes dessa marcação.

Finalmente na criação do modelo 3D final, como referido, as nuvens de pontos obtidas individualmente por cada par de fotografias ao invés de por todos os pares possíveis ao mesmo tempo, constitui um processo muito mais rentável em todos os aspetos. Este modo de operar permite uma melhor identificação de nuvens incorretamente determinadas e o computador utilizado não é tão sobrecarregado como se fosse criada uma nuvem a partir de todas as fotografias em simultâneo. Importa ainda referir que por

estas nuvens tem associados muitos pontos, por vezes, para que seja possível visualizá-las com a melhor qualidade é necessário dividir as nuvens por diferentes projetos, o que apenas é possível com nuvens criadas par a par.

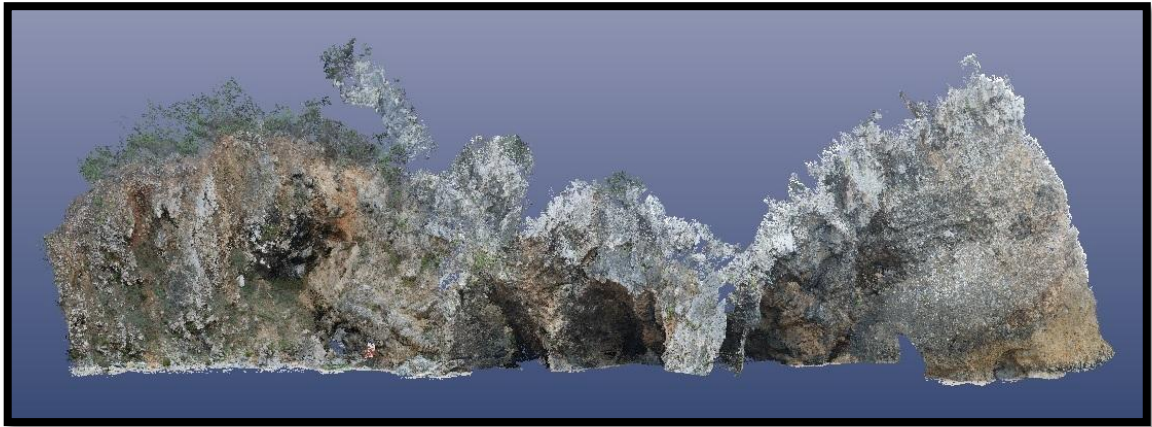


Figura IV.7 - Nuvem de pontos gerada no PhotoModeler

4.2.2. Visual SFM

Tal e qual como no caso do PhotoModeler, os processos referidos acima, são bastante rápidos de realizar, sem que seja necessário um grande envolvimento do operador, excetuando na marcação dos PFs.

Neste caso não é necessário utilizar os parâmetros de calibração da câmara, isto porque no processo de marcação de pontos homólogos, é utilizado o algoritmo SIFT, pelo que as fotografias podem ser obtidas por câmaras diferentes que o processo é realizado independentemente desse fato.

A qualidade das fotografias utilizadas em termos de resolução e luminosidade é algo importante para que um projeto destes seja bem sucedido. As sobreposições devem ser grandes e não há exigência quanto à manutenção de escala nem quanto a ângulos entre eixos de fotografias. No entanto, algumas configurações de fotografias muito diferentes das aconselhadas para a estereorrestituição podem resultar num projeto impossível.

O processamento referido divide-se em 5 grandes fases: importação das fotografias, deteção de pontos homólogos, construção de uma nuvem esparsa, construção de uma nuvem densa e por fim a georreferenciação do modelo final.

Relativamente à primeira fase, a importação das fotografias, o tempo necessário para realizar este processo depende tanto da qualidade como do número de fotografias utilizadas. Apesar de referido acima que é necessária uma grande zona de sobreposição entre fotografias, é necessário encontrar um meio termo, isto porque a introdução de

fotografias praticamente iguais apenas irá prolongar o processo, e não lhe irá oferecer melhores resultados.

A detecção de pontos homólogos (*Compute Missing Matches*), poderá ser mais versátil, isto porque permite definir se as fotografias estão introduzidas na sequência correta ou se estão baralhadas. Esta possibilidade pode também afetar o tempo despendido pelo programa, porque no caso das fotografias estarem já na sequência correta, faz com que sejam procurados pontos apenas nas fotografias seguintes. Caso contrário, esta busca será feita para todos os potenciais pares de fotos do conjunto, o que irá atrasar o processo.

Na construção da nuvem esparsa o operador humano não tem qualquer possibilidade de interferir no processo. Este apenas se realiza de um único modo e dele resulta um modelo aproximado de pontos. A única intervenção do operador é feita neste momento, pois é possível que sejam criados mais do que um modelo, e nem todos poderão ser aproveitados, pelo que é necessário escolher apenas o melhor para que a construção da nuvem densa se inicie. A nuvem densa é criada também sem intervenção do operador, sendo que está condicionada pela qualidade do modelo aproximado. O tempo despendido nestes processos depende da quantidade de dados.

Por fim para que o modelo 3D seja criado, é necessário introduzir tanto os PFs como as suas coordenadas. Estes podem ser associados às fotografias em diferentes fases do processo. Ainda assim os melhores resultados são obtidos quando esta informação é colocada no final.

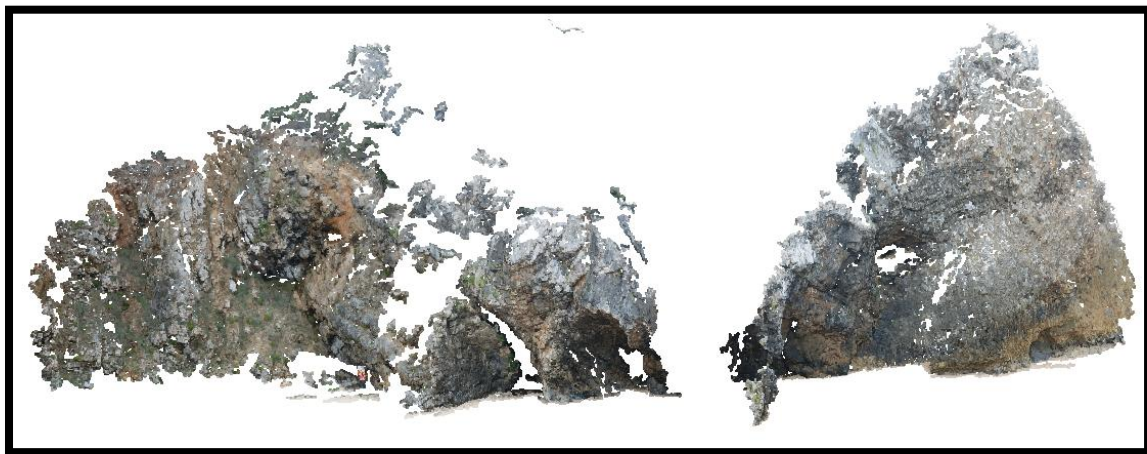


Figura IV.8 - Nuvem de pontos gerada com Visual SFM

4.2.3. Comparação

Pretende-se agora efetuar a comparação entre os resultados obtidos com cada um dos programas utilizados, de modo a definir quais as consequências da utilização de um ou de outro.

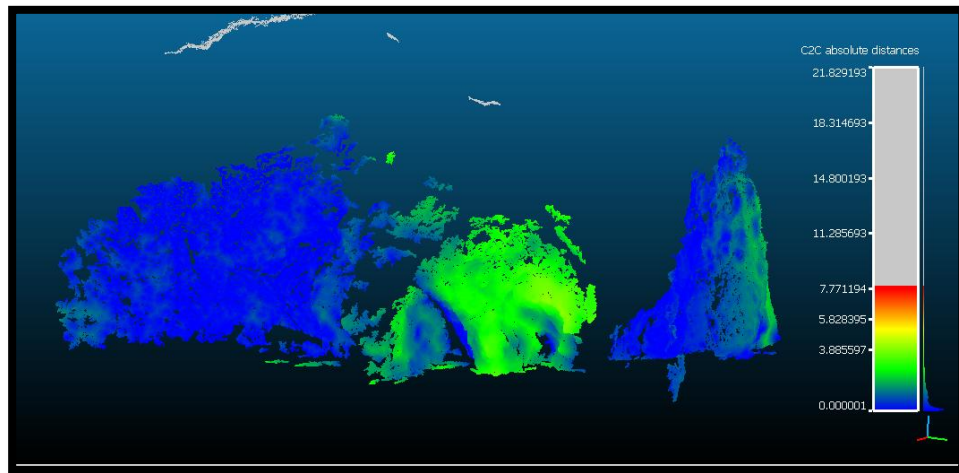


Figura IV.1 - Comparação entre as nuvens de pontos da primeira época

A comparação acima é relativa aos modelos criados para a primeira época de observação, pelo que se pode verificar que na zona central dos modelos existe uma diferença assinalável entre estes. Uma razão para tal pode ser o fato de não existirem PFs suficientes nessa zona que permitam a obtenção de melhores resultados com o programa Visual SFM. Como referido anteriormente houve uma segunda época de observação, desta vez os dados apenas foram processados no programa Visual SFM, obtendo-se uma nuvem um pouco diferente das anteriores.

Na imagem abaixo surge em plano de fundo o modelo do Photo Modeler, que serve de referência para o modelo a branco (segunda época de observação). O referido modelo, foi obtido através do Visual SFM, para tal foram utilizadas fotografias obtidas numa segunda campanha de campo na praia da Adraga.

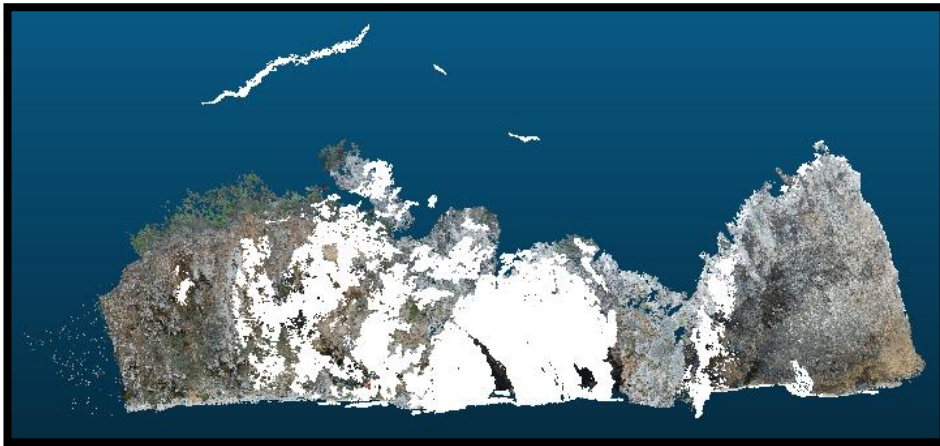


Figura IV.9 - Diferenças entre as duas épocas

Como se verifica na imagem acima, em comparação com a primeira época de observação existem muitas lacunas no modelo da segunda época (modelo a branco), isto porque a geomorfologia da praia alterou-se e impediu a obtenção de imagens em locais que anteriormente eram acessíveis. Desta forma pode-se afirmar que houve alterações na praia em questão, e que a utilização dos programas em estudo foi bastante útil para essa conclusão.

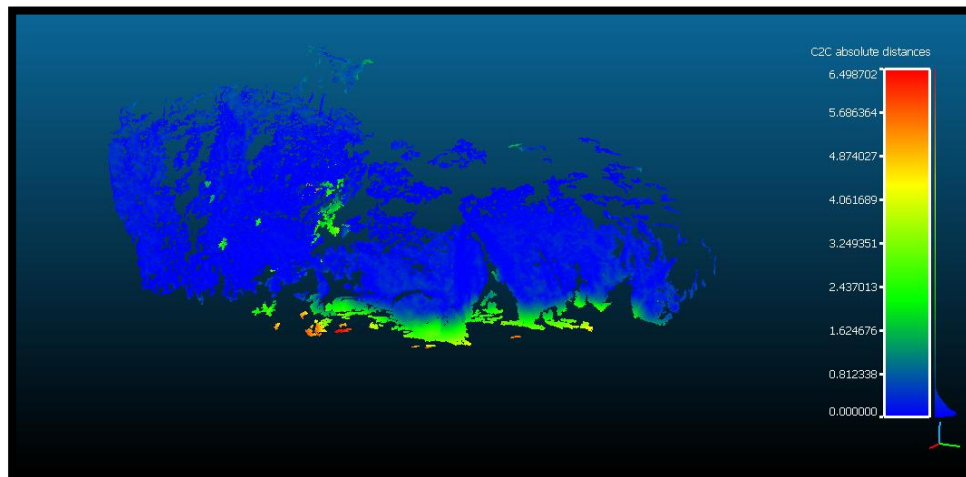


Figura IV.10 – Segunda epoca

Na figura acima, esta representada apenas a segunda epoca de observação. O que se pretende com esta imagem, é provar a existência de grandes diferenças na geomorfologia da praia em comparação com a primeira época de estudo. As maiores diferenças estão representadas a verde na zona inferior da imagem. Nestes locais, encontravam-se anteriormente cobertos por areia e o facto desta ter recuado revelou algumas rochas até então encobertas. Estes factos permitem aferir a grande utilidade destes programas na deteção de diferenças geológicas entre diferentes épocas.

Capítulo V - Conclusões

No presente capítulo pretende-se realizar as considerações finais sobre os estudos mais relevantes deste projeto. Nomeadamente em relação aos estudos efetuados sobre as coberturas aéreas, bem como sobre a obtenção das nuvens de pontos através de diferentes software.

Em relação às coberturas aéreas, conclui-se que os processos relacionados com os projetos de 2010 são mais fáceis e rápidos de executar. Razão pela qual optou-se por realizar a restituição de toda a área de estudo, no projeto de 2010, e as diferenças no projeto de 1980. Não se verificou um grande número de alterações entre 1980 e 2010, ainda assim, nas imagens abaixo encontram-se alguns exemplos de locais onde se verificaram diferenças entre as duas épocas em estudo. De modo a facilitar a visualização dessas diferenças, a linha de crista de arriba é representada por duas cores diferentes, o azul (1980) e o vermelho (2010).

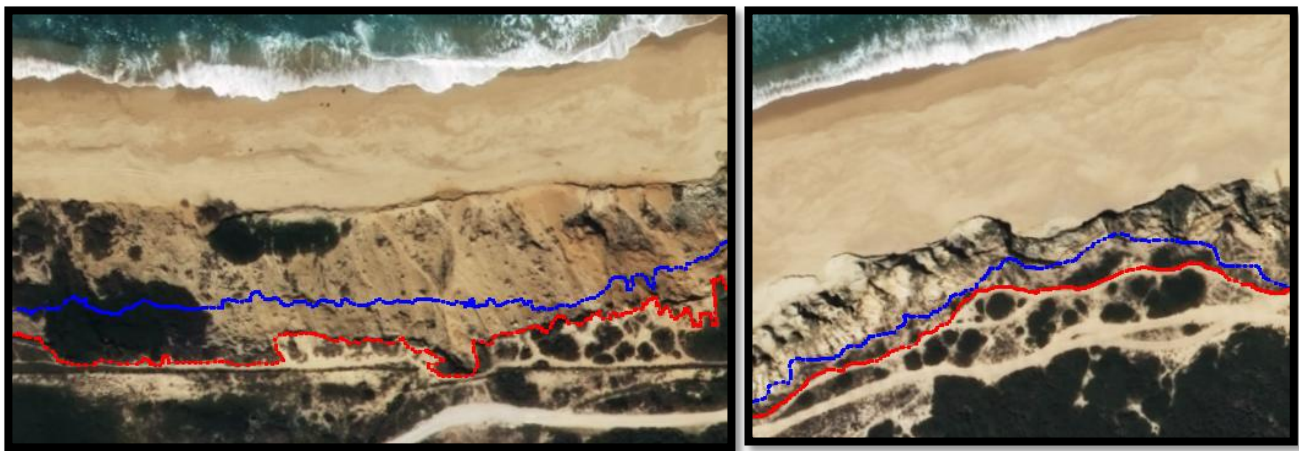


Figura V.1 - Comparações 1980 (azul) e 2010 (vermelho)

Nas imagens anteriores, é evidente que existiu a queda de blocos rochosos, que fizeram parte da arriba costeira no ano de 1980. Como se pode verificar, o mar encontra-se no topo da imagem, e o facto da linha de 1980 (azul) encontrar-se mais próxima deste do que a linha de 2010 (vermelha), indica que houve um recuo da crista da arriba.

No caso das nuvens de pontos, é importante indicar alguns pontos a favor e contra, relativos a cada um dos softwares utilizados.

Tabela V.1 - Comparação entre Visual SFM e Photo Modeler

Parâmetros	PhotoModeler	VisualSFM
Pré requisitos do Software	Exigência em termos de processador	Muito exigente (Placa Nvidia e bom processador)
Tempo de Processamento	Médio	Médio
Autonomia	Média (Smart Match)	Grande
Influência do operador	Grande	Baixa
Qualidade dos resultados	Dependente dos dados utilizados	Muito dependente dos dados utilizados
Utilização	Destinado para a georreferenciação	Destinado para a visualização
Licença	Paga	Gratuita

Em ambos os programas é possível dizer que os processos, são rápidos de realizar, sem que seja necessário um grande envolvimento do operador. Ainda assim no PhotoModeler é necessária maior contribuição.

No que diz respeito às exigências de cada programa em relação a fotografias e a outros dados, o PhotoModeler destaca-se por ser um pouco mais exigente neste ponto, nomeadamente o facto de exigir os parâmetros de calibração da câmara.

A definição de orientação relativa é bastante similar entre os dois programas, sendo que nas fases seguintes existem diferenças a assinalar, nomeadamente a fase de introdução dos PFs, que no caso do PhotoModeler são introduzidos após a utilização do Smart Matching, e no Visual SFM apenas podem ser introduzidos quando o modelo final está criado. Relativamente aos resultados finais, que são o mais importante de todo este processo, é possível indicar que os resultados oferecidos pelo PhotoModeler são mais fiáveis. Isto porque este é um programa mais robusto, no qual são utilizados algoritmos mais potentes. Importa referir que o PhotoModeler é um software comercial, enquanto que o Visual SFM é um open source. Portanto conclui-se que o Visual SFM consistiu numa boa alternativa ao PhotoModeler quando não existe a possibilidade de o utilizar.

Referências

- [1] Meng, Y., and B. Tiddeman, *Implementing the Scale Invariant Feature Transform (SIFT) Method*, University of St. Andrews, Scotland.
- [2] Lowe, D.G. (2004) *Distinctive Image Features from Scale-Invariant Keypoints*, University of British Columbia, Canada.
- [3] Lowe, D.G. *Object Recognition from Local Scale-Invariant Features*, University of British Columbia, Canada.
- [4] Meng, Y., and B. Tiddeman *Implementing the Scale Invariant Feature Transform (SIFT) Method*, University of St. Andrews, Scotland.
- [5] Wu, C., S. Agarwal, B. Curless, and S.M. Seitz *Multicore Bundle Adjustment*, University of Washington, USA.
- [6] S. Agarwal, N. Snavely, S.M. Seitz, and R. Szeliski *Multicore Bundle Adjustment*, University of Washington, USA.

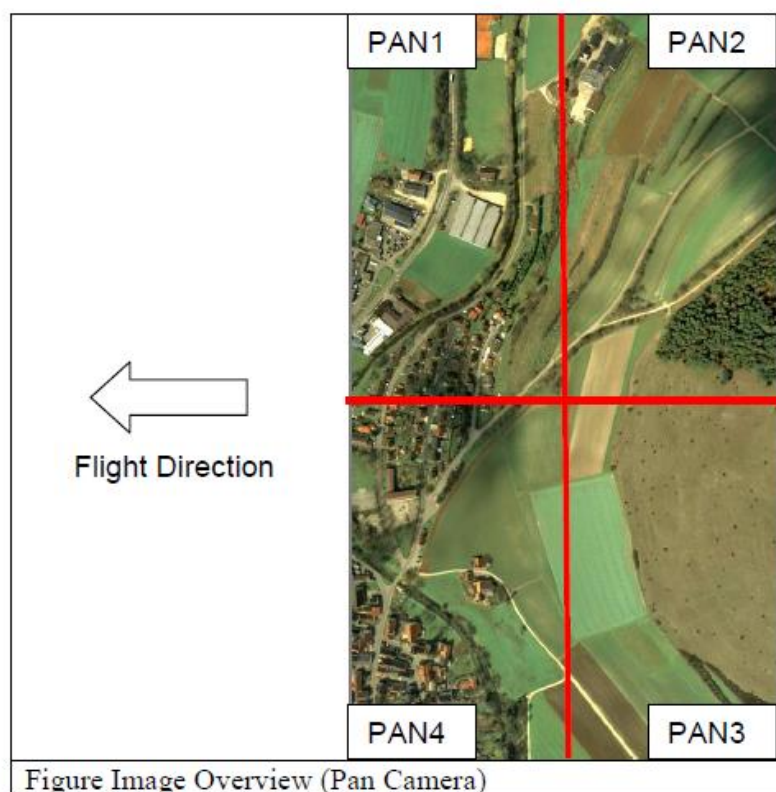
Anexos

Certificados de calibração

Certificado do voo de 2010



Calibration Protocol
DMC01 - 0129



Camera Parameter for Virtual Image (High Resolution)

Virtual Focal Length [m]	0.12
Virtual Sensor Size [Pixel]	13824 x 7680
Virtual Pixel Size [μm]	12
Virtual Principle Point [mm]	X = 0.0 Y = 0.0
Distortion Parameter	Distortion Free

Camera Parameter for Virtual Image (Color Resolution) before Version PPS 5.0.10.3

Virtual Focal Length [m]	0.12 / 4.75
Virtual Sensor Size [Pixel]	3072 x 2048
Virtual Pixel Size [μm]	12
Virtual Principle Point [mm]	X= -0.646 Y=0.646
Distortion Parameter	Distortion Free

Camera Parameter for Virtual Image (Color Resolution) after Version PPS 5.1.10.3

Virtual Focal Length [m]	0.030
Virtual Sensor Size [Pixel]	3456x1920
Virtual Pixel Size [μm]	12
Virtual Principle Point [mm]	X = 0.0 Y = 0.0
Distortion Parameter	Distortion Free

Certificado do voo de 1980

WILD
HEERBRUGG

CAMERA CALIBRATION

LENS : 15 UAG NO.: 1071 CALIBRATION DATE: 80/10/23

FILTER ON CAMERA: ----
APERTURE F / 5.6


CALIBRATED FOCAL LENGTH 152.31 MM

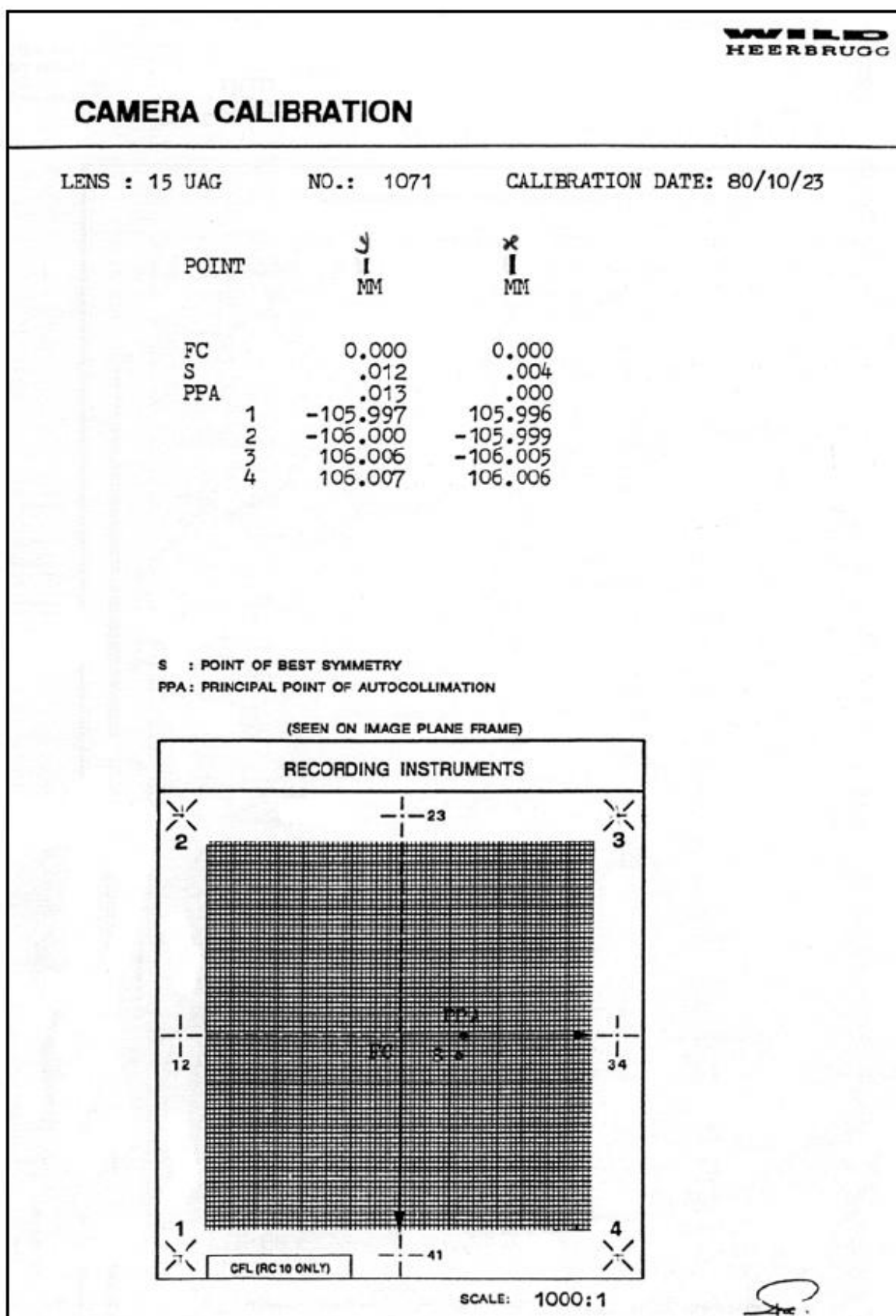
DISTORTION (MICROMETERS)
POSITIVE VALUES DENOTE IMAGE DISPLACEMENT AWAY FROM CENTER.

RADIUS MM	SEMI-DIAGONAL				MEAN
	1	3	2	4	
0	0	0	0	0	0
10	3	2	4	1	2
20	3	4	6	4	4
30	5	7	6	4	5
40	8	9	8	6	8
50	6	7	8	7	7
60	7	6	4	3	5
70	6	5	4	3	5
80	2	1	3	1	2
90	-1	-3	-1	-2	-2
100	-4	-6	-5	-6	-5
110	-8	-7	-8	-7	-7
120	-8	-7	-9	-8	-8
130	-6	-7	-6	-5	-6
140	0	1	-1	0	0
148	8	8	8	10	8

RESOLVING POWER (LINE PAIRS PER MILLIMETER)
CONTRAST (LOG) 2.0 APERTURE: 5.6 FILM: AGFAPAN 25 PROFESSIONAL

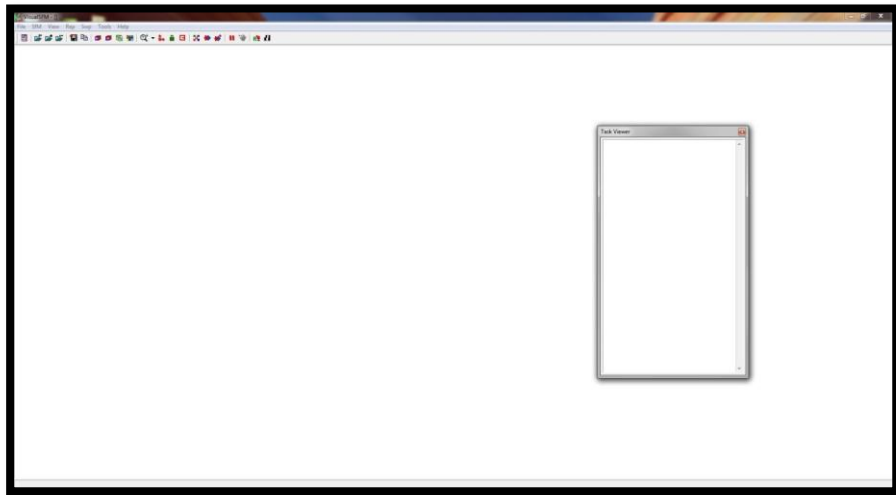
ANGLE (DEG.)	0	5	10	15	20	25	30	35	40	45
RAD.	53	53	52	58	50	38	52	49	26	8
TANG.	53	53	51	44	47	49	45	40	31	19
AWAR	43									





Tutorial de utilização do Visual SFM

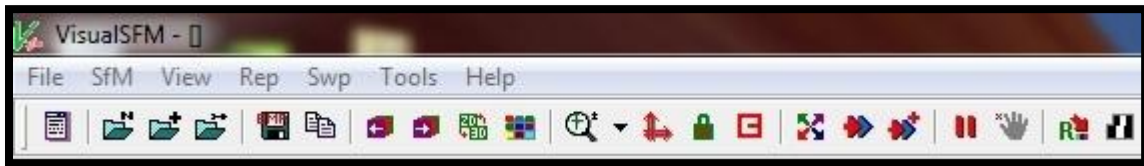
O presente documento tem como objetivo, elucidar os utilizadores do programa Visual SFM relativamente às possibilidades de processamento de fotografias. O objetivo do referido processamento é criar nuvens 3D de pontos, que representem os objetos pretendidos.



Na imagem acima, é apresentado o ambiente de trabalho do programa em causa, tem um interface bastante simples, contém uma caixa de texto e uma barra de menu.

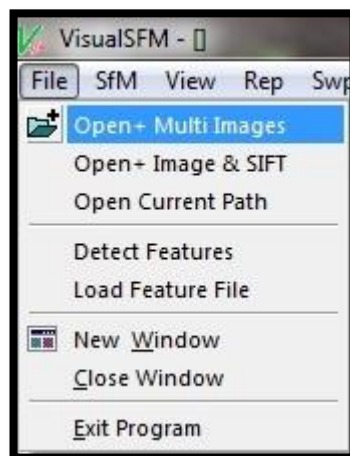


Na caixa de texto, surge informação relativamente às opções tomadas pelo utilizador, aos resultados de possíveis ajustamentos, valores de precisão, tempo de processamento, entre outros. Esta é uma ferramenta bastante útil, pois permite verificar se os resultados que vão sendo obtidos, tem ou não a qualidade pretendida.

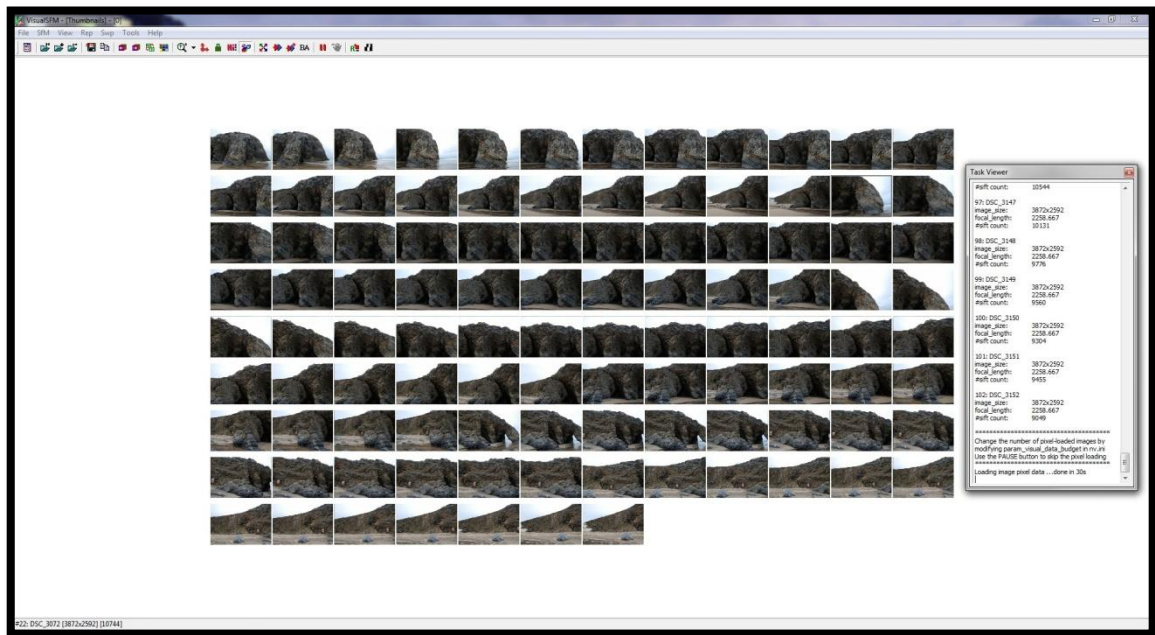


A barra de menu é bastante simples, os botões que se encontram na última linha da barra são os mais importantes, estes podem ser executados diretamente sem que seja necessário selecioná-los a partir das opções da primeira linha da barra.

De modo a iniciar o processamento dos dados, é necessário realizar a importação das fotografias que se pretende utilizar, para tal é necessário selecionar a opção “File” e o comando “Open+Multi Images”.



Após serem selecionadas, as imagens surgem no ambiente de trabalho do software, como indicado na imagem abaixo, na caixa de texto surge ao mesmo tempo a informação sobre cada fotografia bem como o tempo que foi necessário para fazer o carregamento do total das imagens.

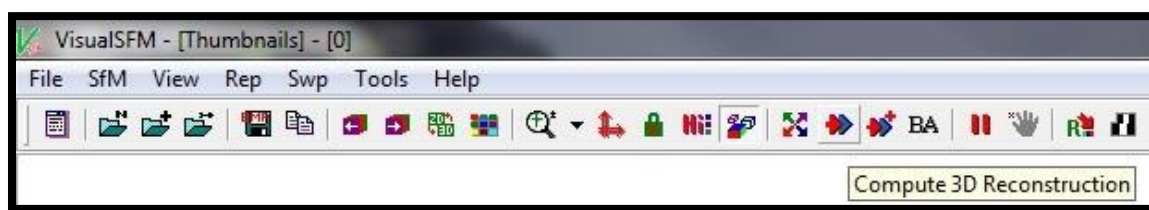


Neste momento as fotografias estão prontas para serem utilizadas no processamento, sendo a fase seguinte a recuperação da sua orientação relativa. Para tal é necessário marcar pontos homólogos entre várias fotografias. Esses pontos são identificados através da opção “Compute Missing Matches”, esta opção utiliza o algoritmo SIFT (Scale Invariant Feature Transform).

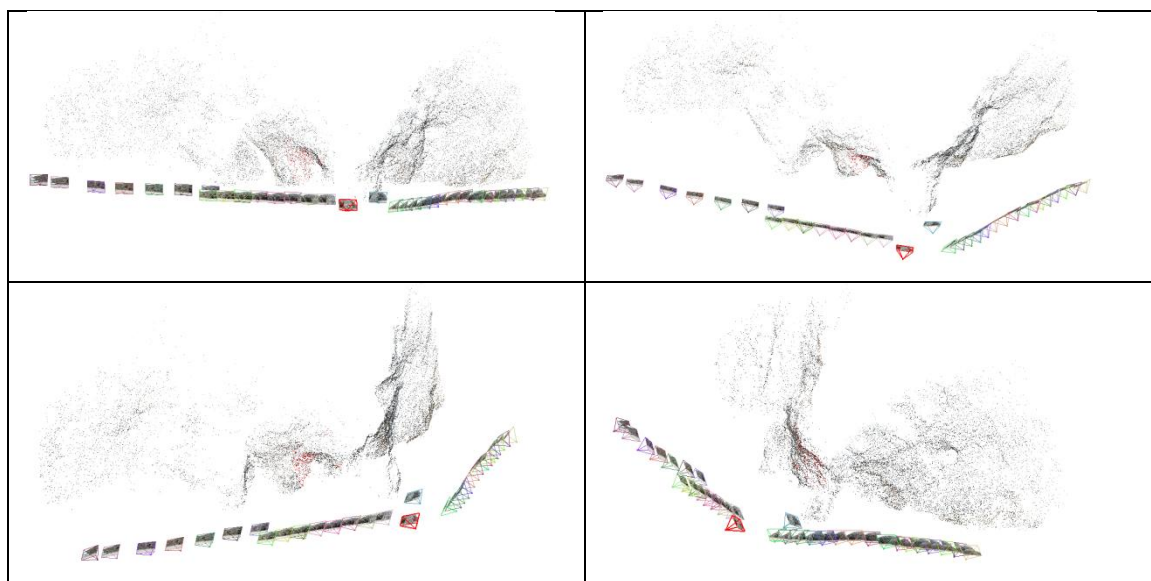


Com a orientação relativa recuperada, é possível iniciar o processo de geração do modelo 3D. Este processo é dividido em duas fases, numa primeira é criada uma nuvem esparsa (menos densa) e na segunda fase é criada a nuvem definitiva com maior pormenor.

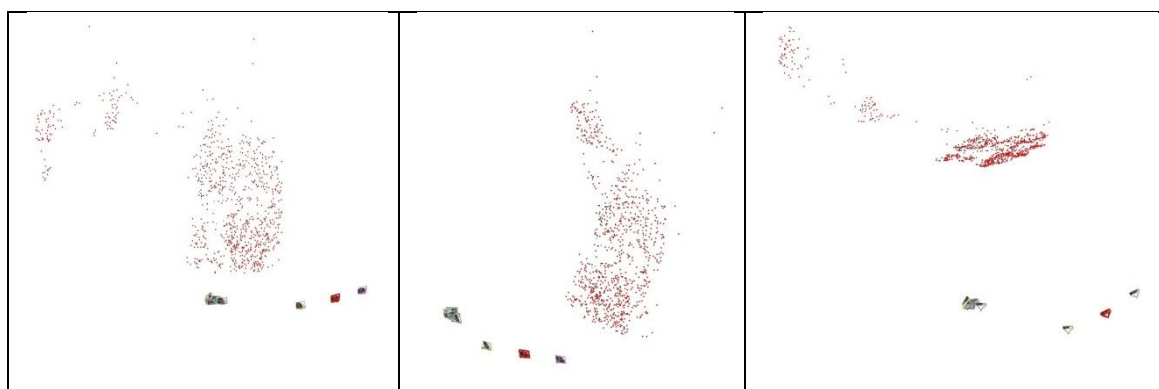
Para gerar a nuvem esparsa é necessário seleccionar a opção “Compute 3D Reconstruction”, que utiliza o princípio PBA (Parallel Bundle Adjustment).



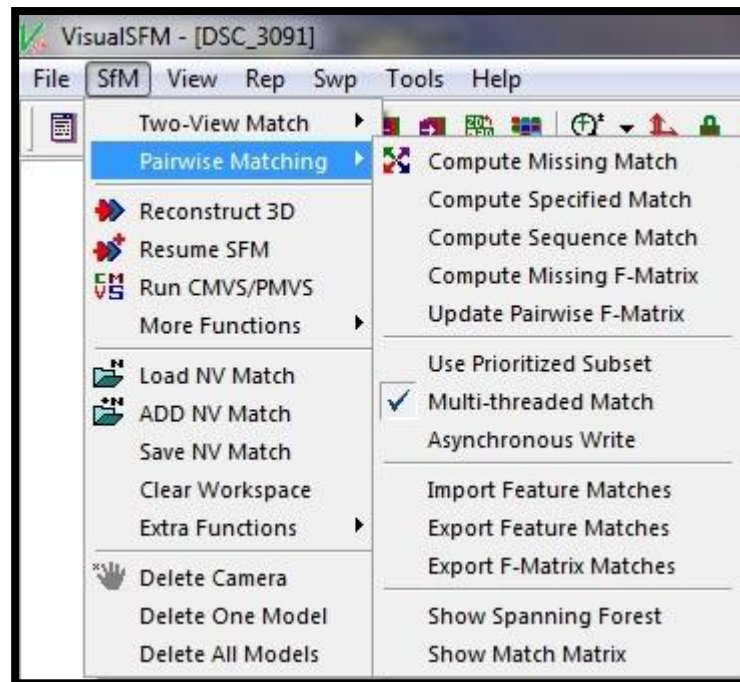
Através deste princípio é criado um modelo que constrói a nuvem, podendo por vezes este ser interrompido pela impossibilidade de marcar novos pontos, nestes casos é criado um novo modelo.



As imagens acima representam um modelo final obtido com sucesso, este foi corretamente criado, mas até ao momento da sua criação surgiram outros modelos incorretos como os representados nas imagens abaixo.

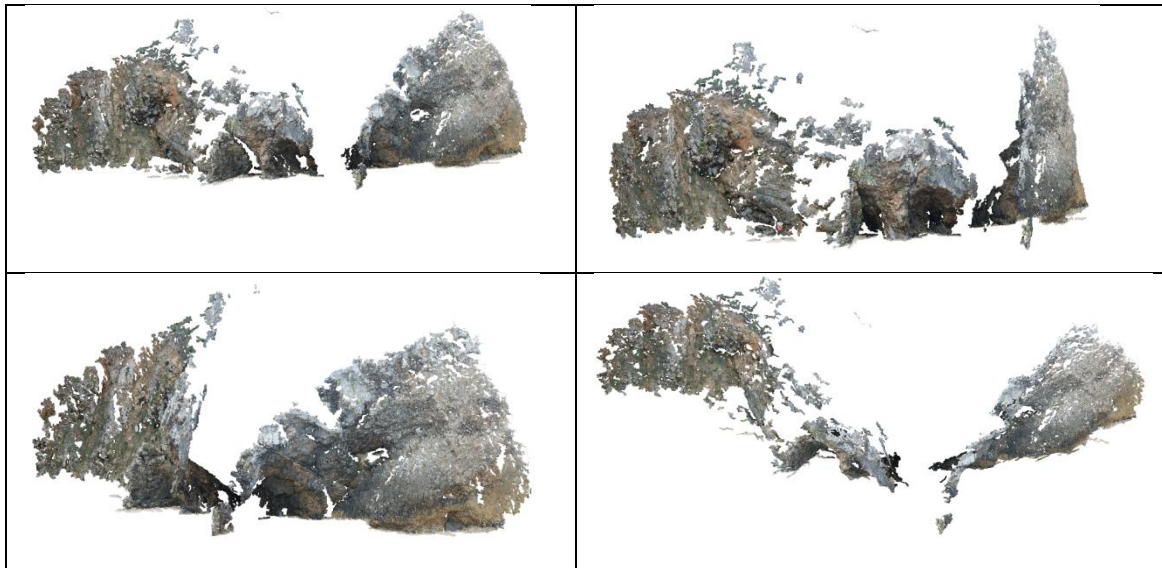


Antes de passar à criação do modelo final, apenas deve existir a nuvem esparsa correta, pelo que se existirem nuvens incorretas, estas devem ser previamente eliminadas. Quando todas as nuvens esparsas estiverem finalizadas, é possível visualizar uma a uma utilizando as setas do teclado, quando surgir uma nuvem que se pretenda eliminar, basta seleccionar o botão “SfM” e a opção “Delete One Model”. Este procedimento deve-se realizar até que reste apenas a nuvem correta.



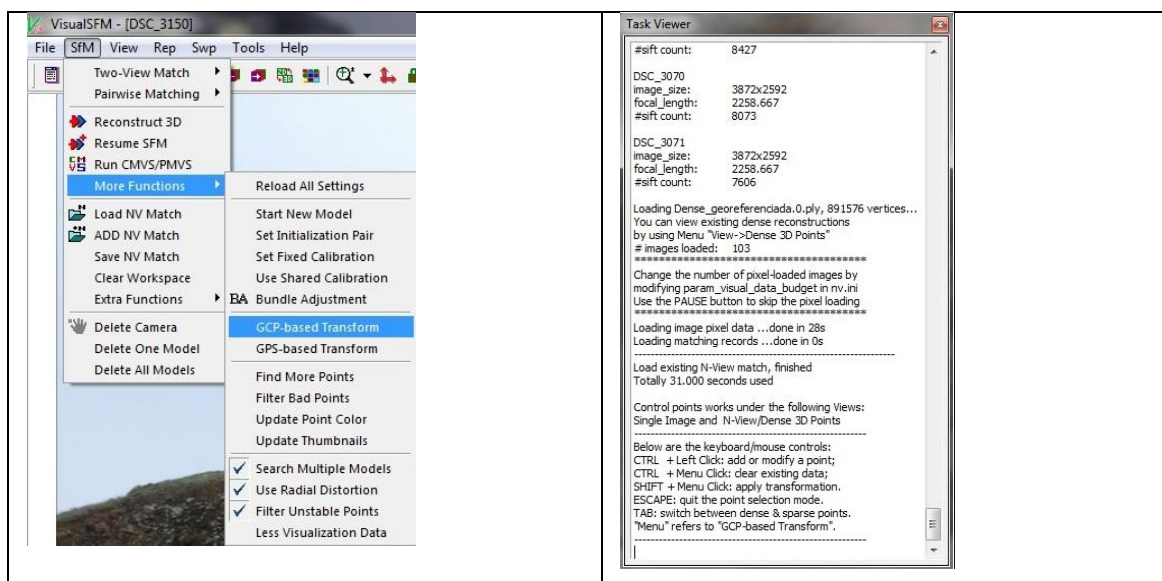
Utilizando a nuvem esparsa correta, é possível criar o modelo final, através da opção “CMVS/PMVS” (Clustering for Multi-View Stereo/ Patch Multi-View Stereo).

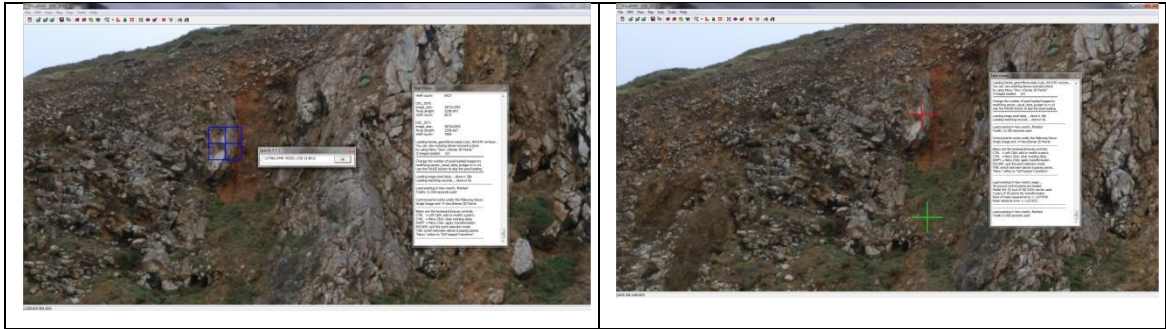




Nas quatro imagens representadas acima, encontra-se o modelo final visto de diferentes perspectivas. Embora seja possível verificar a existência de algumas imperfeições no modelo criado (zonas sem qualquer ponto) o resultado final é bastante aceitável.

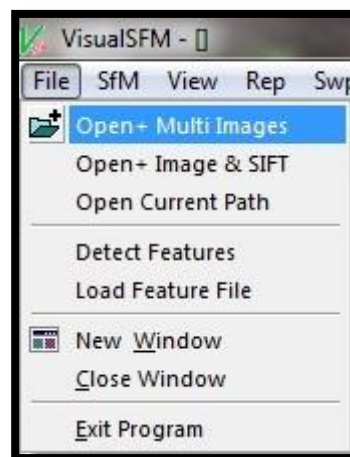
Neste momento resta realizar a orientação absoluta, de modo a finalizar todo o processo. É necessário marcar os PF's obtidos previamente nas fotografias onde estes surgem, associando-lhes diretamente as suas coordenadas através do preenchimento de uma caixa de texto, este processo é realizado utilizando a opção GCP Based Transformation.



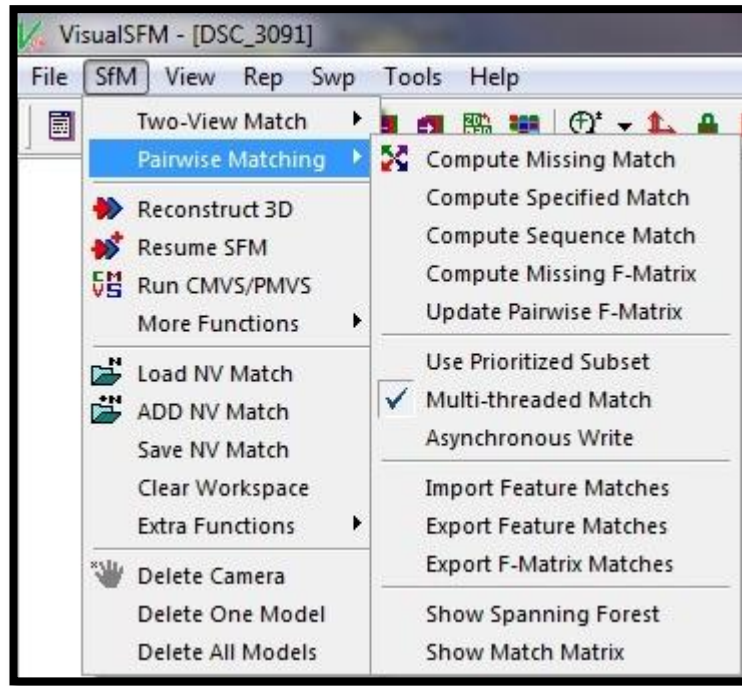


Os PF's devem estar bem distribuídos pelo objeto que se pretende modelar, sendo que devem ser no mínimo 3 para o todo o objeto. Após a marcação de todos os pontos, o modelo deve ser processado utilizando as coordenadas dos PF's marcados, clicando novamente na opção GCP Based Transformation. Desta forma é possível obter o modelo 3D final.

Em seguida serão abordadas algumas opções não referidas anteriormente neste tutorial, bem como diferentes locais onde as opções anteriormente utilizadas podem ser escolhidas.

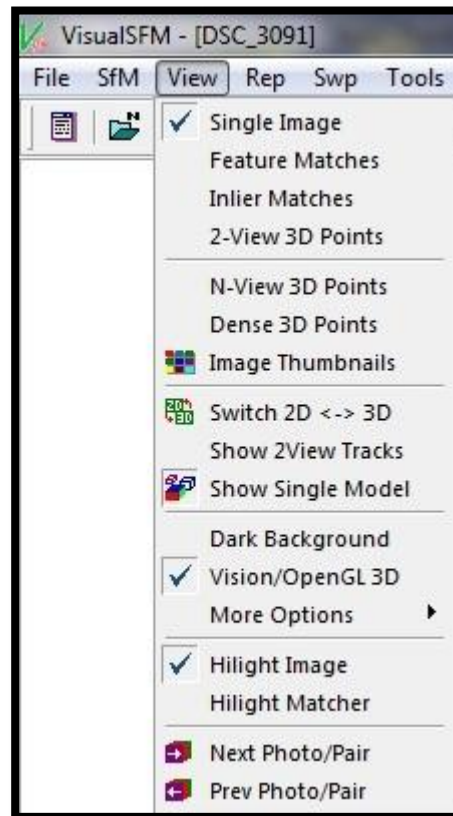


No botão “File”, as opções “Open+ Multi Images” e “Exit Program”, são as mais relevantes. A primeira já foi referida no início deste tutorial e pretende introduzir as imagens no software. A opção “Exit Program” tal como o nome indica, serve para sair do programa. As restantes opções não tem utilidade no tipo de processamento em causa.

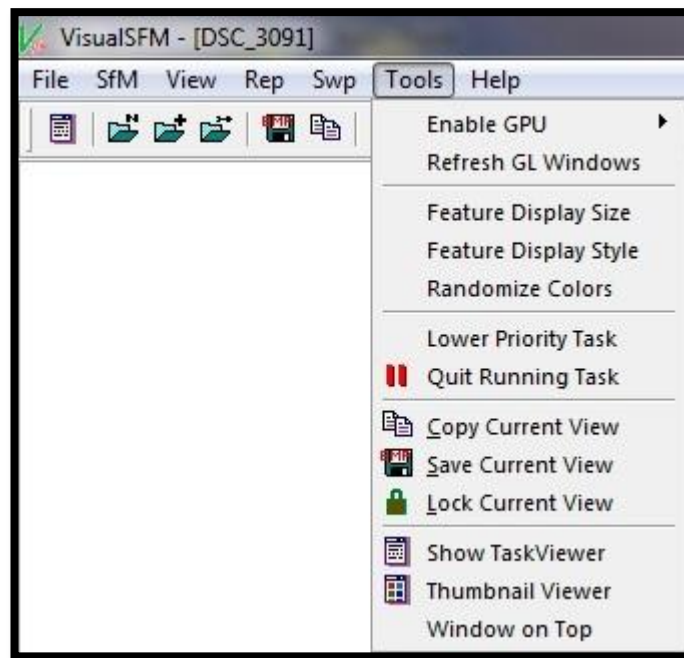


No botão “SfM” existem várias opções úteis. A partir da opção “Pairwise Matching” é possível realizar o “Compute Missing Match”, que permite recuperar a orientação relativa de cada fotografia. Esta é a opção mais fiável para este fim, ainda assim é possível utilizar o “Compute Specified Match” que apenas recupera a orientação de algumas fotos, ou então o “Compute Sequence Match” que considera que as fotografias estão ordenadas.

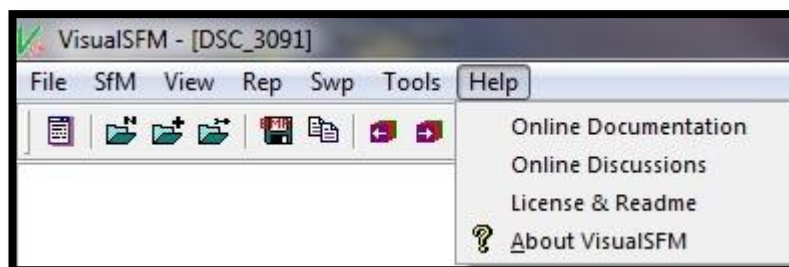
A partir do botão “Sfm” é ainda possível criar o modelo 3D final “Run CMVS/PMVS”, fazer o load de um projeto já criado “Load NV Match”, salvar um projeto “Save NV Match” e eliminar modelos (nuvens de pontos) “Delete One Model”, “Delete All Models”.



O botão “view” tal como o nome indica, fornece diferentes opções de visualização. As opções mais importantes são “Image Thumbnails” que permite visualizar todas as imagens importadas numa grelha, tal como a que surge no início do tutorial. A opção “N-View 3D Points” permite ver a nuvem esparsa e a “Dense 3D Points” mostra a nuvem densa. Também é possível visualizar cada foto ou par individualmente, utilizando as duas últimas opções da imagem acima representada.



No botão “Tools” existe a possibilidade de interromper uma tarefa que esteja a ser executada “Quit Running Task”, guardar uma imagem do ambiente de trabalho do software “Save Current View” e também é possível mostrar a caixa de texto inicialmente referida “Show TaskViewer”.



Por fim o botão “Help”, fornece algumas opções de ajuda que podem ser bastante úteis.

Parâmetros de Orientação Externa cobertura de 2010

Foto	X (m) +/- 0.1	Y (m) +/- 0.1	Z (m) +/- 0.1	θ ° +/- 0.04	ρ ° +/- 0.04	k ° +/- 0.04
F19_1134_rgb	-94655.607	-139429.731	3048.431	0.2799	0.1606	71.2887
F19_1135_rgb	-94396.288	-138665.35	3048.855	0.0923	-0.5562	71.9124
F19_1136_rgb	-94131.496	-137904.027	3050.092	0.3823	0.7726	70.4783
F19_1137_rgb	-93857.457	-137148.75	3050.331	-0.3531	-0.6231	70.5945
F19_1138_rgb	-93594.547	-136387.318	3050.613	-0.1629	-0.4651	71.2624
F19_1139_rgb	-93335.956	-135622.225	3050.321	0.1361	0.0902	71.4446
F19_1140_rgb	-93074.539	-134859.888	3048.642	-0.331	-0.914	71.824
F19_1141_rgb	-92816.734	-134094.885	3050.798	0.2961	0.3691	71.1957
F19_1142_rgb	-92555.691	-133330.639	3046.992	-0.4091	-0.6049	71.7549
F19_1143_rgb	-92296.624	-132566.258	3049.783	0.1838	0.6455	71.1252
F19_1144_rgb	-92020.952	-131809.954	3048.083	-0.0607	0.6002	69.9631
F19_1145_rgb	-91757.481	-131047.976	3049.218	-0.7073	-1.8635	72.4027
F19_1146_rgb	-91510.574	-130277.334	3052.929	0.0183	-0.2803	72.3648
F19_1147_rgb	-91254.561	-129511.485	3047.502	0.1455	0.9399	70.9773
F19_1148_rgb	-90982.874	-128753.06	3047.31	0.4003	0.5037	70.2283
F19_1149_rgb	-90713.394	-127994.233	3044.919	0.1456	-0.4685	70.8147
F19_1150_rgb	-90452.112	-127230.986	3047.423	0.203	-0.473	71.3603
F19_1151_rgb	-90190.302	-126467.792	3046.927	0.0921	-0.5609	71.5916
F18_1616_rgb	-90647.338	-119494.387	3030.052	0.3828	0.0655	-109.6744
F18_1617_rgb	-90914.345	-120252.255	3034.7	0.0033	0.8462	-109.1802
F18_1618_rgb	-91174.947	-121016.017	3035.419	0.3107	0.9218	-108.3131
F18_1619_rgb	-91430.954	-121783.043	3036.453	-0.1673	-0.6601	-108.9419
F18_1620_rgb	-91700.274	-122541.258	3033	-0.2391	-0.8136	-109.7185
F18_1621_rgb	-91965.228	-123302.896	3031.794	0.4861	1.4858	-108.3178
F18_1622_rgb	-92222.249	-124067.873	3034.324	-0.4507	0.3306	-108.7946
F18_1623_rgb	-92483.04	-124832.102	3035.315	-0.6115	-0.0959	-109.0376
F18_1624_rgb	-92746.106	-125593.889	3034.501	-0.3113	-0.0905	-109.089
F18_1625_rgb	-93010.38	-126355.286	3034.456	-0.0922	0.2635	-108.8549
F17_1628_rgb	-93992.89	-120891.386	3050.491	-0.1148	-0.1584	70.9549
F17_1629_rgb	-93728.4	-120129.329	3049.93	-0.1735	-0.074	70.8494
F17_1630_rgb	-93460.533	-119370.901	3051.039	-0.1706	-0.229	70.6741
F17_1631_rgb	-93189.35	-118611.936	3051.897	-0.0337	0.0044	70.48
F17_1632_rgb	-92917.778	-117856.08	3051.163	-0.0147	-0.0649	70.2702

Estudo de técnicas fotogramétricas para caraterização geométrica de arribas

F17_1633_rgb	-92647.912	-117096.004	3051.48	-0.2789	-0.6866	70.9873
F17_1634_rgb	-92385.6	-116334.851	3050.631	-0.2984	-0.7108	71.5171
F16_3289_rgb	-94168.502	-113163.615	3045.17	0.1014	0.0476	-108.9019
F16_3290_rgb	-94424.427	-113929.434	3048.743	0.0019	0.971	-107.8589
F16_3291_rgb	-94683.702	-114694.378	3047.809	-0.0704	-0.4443	-108.9762
F16_3292_rgb	-94947.386	-115455.609	3047.139	-0.0166	0.0881	-108.7242
F16_3293_rgb	-95209.665	-116217.951	3045.431	-0.0231	-0.1764	-108.9457
F15_3295_rgb	-97235.913	-113807.331	3050.542	-0.2227	-0.843	71.4234
F15_3296_rgb	-96968.976	-113046.388	3049.881	0.058	-0.5052	70.5326
F15_3297_rgb	-96708.544	-112283.981	3049.82	0.1411	-0.2786	70.9313
F15_3298_rgb	-96454.483	-111517.296	3050.864	0.1187	-0.401	71.6358
F15_3299_rgb	-96189.213	-110757.076	3049.391	-0.0974	-0.3867	70.785
F15_3300_rgb	-95930.946	-109991.736	3050.304	-0.3573	-0.7488	71.5286
F14_1130_rgb	-98481.125	-109120.206	3114.477	0.1479	0.7484	-108.4852
F14_1131_rgb	-98736.939	-109886.256	3114.738	-0.2139	0.1285	-108.5869
F14_1132_rgb	-99004.445	-110646.656	3114.812	-0.5909	-0.8773	-109.7367
F14_1133_rgb	-99274.365	-111403.911	3116.105	0.0187	0.6285	-109.1441

Resultados da Aerotriangulação de 1980

Parâmetros de Orientação Externa cobertura de 1980

Área entre o Cabo Espichel e a Lagoa de Albufeira						
Foto	X (m) +/- 0.1	Y (m) +/- 0.1	Z (m) +/- 0.1	θ ° +/- 0.04	ρ ° +/- 0.04	k ° +/- 0.04
V3680_3811	-94861.712	-139109.746	2386.930	-0.9366	-1.4147	67.2823
V3680_3812	-94345.75	-137822.373	2385.069	-1.2588	-2.2957	68.4767
V3680_3813	-93880.578	-136584.074	2384.427	-0.8657	-0.7565	68.7167
V3680_3814	-93428.238	-135408.157	2383.559	-0.8207	-1.1855	68.3169
V3680_3815	-92970.688	-134237.286	2383.111	-0.9954	-1.5886	68.1089
V3680_3816	-92516.555	-133067.502	2382.825	-1.1063	-1.7433	68.5564
V3680_3817	-92079.241	-131911.506	2382.385	-1.0686	-2.0704	69.3641
V3680_3818	-91651.781	-130732.305	2381.106	-0.9351	-1.3832	70.2487
V3680_3819	-91224.107	-129549.534	2382.217	-0.8644	-1.0013	69.8651
V3680_3820	-90788.874	-128390.315	2382.116	-0.7836	-0.7638	68.7174
V3680_3821	-90322.367	-127219.997	2383.127	-1.1143	-1.6186	67.7906
Área entre a Lagoa de Albufeira e a Cova do Vapor						
Foto	X (m) +/- 0.1	Y (m) +/- 0.1	Z (m) +/- 0.1	θ ° +/- 0.04	ρ ° +/- 0.04	k ° +/- 0.04
V3680_3822	-90840.057	-126553.523	2387.451	-0.3833	-0.6370	109.5308
V3680_3823	-91224.791	-125264.689	2387.138	-0.6632	-0.4271	108.0998
V3680_3824	-91572.018	-123996.938	2385.951	-0.1924	-1.2755	106.9841
V3680_3825	-91919.950	-122778.115	2384.525	0.4974	-2.3608	110.0715
V3680_3826	-92308.466	-121578.204	2383.943	0.1911	-1.6575	110.2911
V3680_3827	-92702.608	-120375.724	2381.987	-0.0555	-1.7206	110.2923
V3680_3828	-93094.170	-119153.139	2378.544	0.2802	-2.1886	110.2161
V3680_3829	-93506.000	-117972.610	2379.843	0.8185	-2.6611	113.5031
V3680_3830	-93970.574	-116810.530	2377.873	0.2478	-1.5981	114.4132
V3680_3831	-94423.765	-115657.019	2376.090	-0.2057	-0.9010	113.4706
V3680_3832	-94871.516	-114503.115	2375.856	0.8532	-2.5829	115.6009
V3680_3833	-95364.862	-113373.805	2376.314	0.9644	-2.3605	117.0038
V3680_3834	-95887.345	-112262.541	2378.647	0.3702	-1.3858	118.5688
V3680_3835	-96415.862	-111147.287	2381.416	0.0049	-0.9069	117.5751
V3680_3836	-96926.889	-110022.627	2382.951	0.1498	-1.1667	116.6298

Resíduos dos PF's

Área entre o Cabo Espichel e a Lagoa de Albufeira					
Ponto	X (m)	Y (m)	Z (m)	Resíduo XY (m)	Resíduo Z (m)
PF01	-94598.718	-138472.541	138.613	0.076	0.030
PF16	-92772.916	-135800.823	88.545	0.134	-0.229
PF26	-90564.080	-132170.686	57.182	0.134	0.141
PF61	-89419.954	-128187.520	38.196	0.146	-0.108
PF73	-90929.987	-127091.263	49.238	0.161	0.078
PF80	-93186.720	-138995.559	105.534	0.153	0.089
Área entre a Lagoa de Albufeira e a Cova do Vapor					
Ponto	X (m)	Y (m)	Z (m)	Resíduo XY (m)	Resíduo Z (m)
PF101	-89485.612	-126321.876	22.636	0.115	0.029
PF105	-92680.669	-120869.991	18.186	0.423	-0.068
PF106	-91046.614	-119936.076	71.535	0.164	-0.038
PF107	-94532.044	-115937.919	14.783	0.460	0.122
PF109	-96798.879	-111930.616	8.525	0.624	-0.026
PF110	-94848.496	-110608.986	112.825	0.566	-0.019

Estimativas da precisão dos ajustamentos

Cabo Espichel/Lagoa de Albufeira	Lagoa de Albufeira/Cova do Vapor
0.559 m	0.738 m